

Aus dem Anatomischen Institut (Lehrstuhl I)
in Marburg
Direktor: komm. Leiter Prof. Dr. F. Neurath

BEWEGUNGSANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN MENSCHLICHEN SPERMATOZOEN MIT
HILFE DER MIKROKYMOGRAPHIE

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

HANS-JÜRGEN HERMANNSS
aus Ochsenbach

Marburg 1977

Druck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Aus dem Anatomischen Institut (Lehrstuhl I)
in Marburg

Direktor: komm. Leiter Prof. Dr. F. Neurath

BEWEGUNGSANALYTISCHE UNTERSUCHUNGEN
AN MENSCHLICHEN SPERMATOZOEN MIT
HILFE DER MIKROKYMGRAPHIE

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Humanmedizin der

Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

HANS-JÜRGEN HERMANN

aus Ochsenbach

Marburg 1977

Druck: Görich & Weiershäuser, Marburg



Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Universität Marburg am 23.9.1977
gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs
Humanmedizin

Dekan: Prof. Dr. F. Neurath
Referent: Prof. Dr. A. Castenholz
Correferent: Prof. Dr. K. Lehmann

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I. Einleitung	1
II. Zur mikroskopischen Anatomie des Spermatozoon	5
III. Die mikroskopische Darstellung von Samenproben	8
1. Hellfeld	8
2. Phasenkontrast	8
3. Dunkelfeld	8
IV. Gewinnung, Präparation und klinische Auswertung der Samenproben	10
V. Das Spermio-Streifenmikrokymographische Aufnahmeverfahren (SMKG)	12
VI. Auswertung des SMKG	15
1. Bewegungsanalyse propulsiver Spermatozoen	15
2. Analyse der Bewegungssumme des SMKG	23
3. Bestimmung des Spermomotilitätsindex (SMI)	25
VII. Quantitative Ergebnisse und statistische Auswertung	28
VIII. Diskussion	42
IX. Zusammenfassung	46
X. Literaturverzeichnis	47



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41552327_0040

I. Einleitung

Die Beweglichkeit des Spermatozoon gehört neben den Besonderheiten seiner Morphologie zu den hervorstechendsten Merkmalen dieser hochspezialisierten Zelle.

Die Entdeckung der Spermatozoen verdanken wir dem Medizinstudenten Johann Ham aus Arnheim, der bewegliche Samenzellen im Ejakulat eines Mannes erkannte und seine Beobachtungen dem erfahrenen Wissenschaftler Antony van Leeuwenhoek (1678) mitteilte. Die Beweglichkeit der "Samenthierchen", wie sie damals noch genannt wurden, übten auf viele Forscher bis in unsere Zeit eine große Faszination aus. Sie hat zu zahlreichen Untersuchungen über die Natur der Spermatozoenbewegung geführt (HENLE 1841, LOTT 1872, ADOLPHI 1905, JOËL 1953, BISHOP 1962, NELSON 1970, GIBBONS 1975, PHILLIPS und OLSON 1975 u. a.).

Darüberhinaus wurden vielfache Anstrengungen unternommen, Beziehungen zwischen Motilität und Befruchtungsfunktion aufzuzeigen. SOBRERO (1974) faßt die inzwischen weitgehend akzeptierte Auffassung folgendermaßen zusammen: "Sperm motility is of primary importance at the fertilisation site, where - whether it is chemotaxis, though it is very unlikely, or just mere chance that brings sperm and egg together - no penetration of the granulosa cell of the corona radiata and of the zone pellucida of the egg is possible for any but motile sperm". Diese Tatsache weist klar darauf hin, daß die Fertilität des Mannes von den Eigenschaften des Samens, insbesondere der Beweglichkeit der Samenzellen abhängig ist (FARRIS 1949/1950, MAC LEOD u. GOLD 1951, HARVEY 1953, HEINKE u. SCHUCHARDT 1960, SILLO-SEIDL 1963, NAGHMA-E-RELIAN 1975, SOBRERO u. NAGHMA-E-RELIAN 1975). Eine zusammenfassende Darstellung findet sich bei DOEPFMER u. HEINKE (1960).

Leider fehlt in der Diagnostik der männlichen Fertilität und ihrer Störungen eine allgemein anerkannte objektive Registrierungsmethode (FREUND 1966), die die komplizierten Bewegungsvorgänge der Spermatozoen quantitativ und qualitativ dokumentiert. Die differenzierte Beurteilung dieser Zelleistung stellt jedoch einen unverzichtbaren Untersuchungsgang zur Erstellung des Spermiogramms dar (SCHIRREN 1971). Trotzdem bedient man sich in der andrologischen Forschung und Praxis zur Erfassung dieser Bewegungsphänomene immer noch subjektiver Schätzmethode, welche allzu große Fehlermöglichkeiten offenlassen (ELIASSON 1971a).

Die Anwendung objektiver Meßverfahren erscheint aber aus vielerlei Gründen wünschenswert, insbesondere im Hinblick auf eine internationale Standardisierung der Beurteilungskriterien für die Samenuntersuchung, worauf ELIASSON (1971b) eindringlich hingewiesen hat. Eine Verbesserung der heute in der Samenuntersuchung noch vielfach üblichen Methode der mikroskopischen Beobachtung und subjektiven Beurteilung von Bewegungsvorgängen erfolgte durch die Verwendung von Blutzählkammern (nach Thoma, Neubauer, Türk usw.), die erstmals von HARVEY (1945) eingesetzt wurden. Dadurch war es möglich, durch Zählung der beweglichen Spermatozoen innerhalb eines festgelegten Raumes eine gewisse Quantifizierungsmöglichkeit zu erreichen (JÖEL u. BOTELLA-LLUSIA 1971). Mit der Einführung der Mikrokinematographie gelang es erstmalig SCHLENK u. KAHMANN (1936) die räumliche Bewegung von Forellenspermatozoen im Dunkelfeld genauer zu untersuchen. Weitere kinematographische Aufzeichnungen von Spermatozoenbewegungen führten HOTCHKISS (1936), GADDUM (1969), PHILLIPS (1970), VAN DUJN (1971), MAC GRADDY (1973), BURGOS u. TOVAR (1974) und DENEHY (1975) durch. Eine ultraschnelle Kamera mit 100-400 Bildern/Sek. benutzten FARRIS (1948), ZORNIOTTI (1958), RIKMENSPOEL (1957/1966) und PHILLIPS (1972). GRAY (1955) filmte die Schwanzbewegungen mit Hilfe eines Stroboskopblitzes von 1/500 Sek. Dauer.

Ein mikrophotographisches Verfahren zur Untersuchung von Seeigelspermatozoen wurde zuerst von ROTHSCILD u. SWANN (1949) und ROTHSCILD (1951) mit Dunkelfeldbeleuchtung eingeführt. JANICK u. MAC LEOD (1970) verwandten diese Aufnahmetechnik zur Motilitätsbestimmung von verdünntem menschlichen Samen. TCHACAROF u. NACHEV (1966) benutzten ebenfalls die Mikrophotographie im Dunkelfeld. Sie gaben ihrer Methode die Bezeichnung "Spermiokinesiographie".

RITCHIE (1950) verbesserte die mikroskopische Beurteilung der Spermatozoenbewegungen durch die Verwendung des Stroboskopblitzes, der ferner von BROWN u. POPPLE (1955), GRAY (1955/1958) und BROKAW (1965) für die Mikrophotographie mit der kurzen Belichtungszeit bis zu 1/500 Sek. eingesetzt wurde.

Physikalische Methoden fanden durch ROTHSCILD (1949) in Form von Impedanzmessungen an Bullensperma Verwendung. TIMOURIAN u. WATCHMAKER (1970) konnten Motilitätsmessungen mit dem Spektrophotometer und einer "flow cell" durchführen. Diese Apparatur wurde in der Folge ebenfalls von WALL (1973) für den Haushahn und ARTHERTON (1975) für Bullensperma verwandt. DUBOIS et al. (1975) erfaßte mit einer physikalischen Apparatur die Veränderung von eingestrahltm Laserlicht auf Samenproben in Form des Dopplereffektes.

Elektronisch-mikroskopische Techniken wurden von VAN DEMARK et al. (1957), BOSSELAAR u. SPRONK (1952), RIKMENSPOEL (1957/1964), MUNKTEL u. FJÄLLBRANT (1972), REBBE (1973) sowie JECHT u. RUSSO (1973) angegeben.

CASTENHOLZ verwandte eine photokymographische Aufnahmetechnik (MKG 1967/1973/1977) zur Aufzeichnung der Spermatozoenbewegung (SMKG, 1974a) und konnte damit mehrere Bewegungsparameter wie Bewegungsfrequenz, Amplitude und Bewegungsart der Spermatozoen gleichzeitig erfassen. Durch eine Modifikation dieses Aufnahmeverfahrens, das er

Streifenmikrophotographie (SPG, 1974b) nannte, kann auch die Zellzahl bestimmt werden.

Ziel dieser Arbeit soll es sein, das Spermio-mikrokymogramm (SMKG) als objektive Darstellungsmethode für die Spermatozoenmotilität im Rahmen von Ejakulatuntersuchungen der andrologischen Klinik an einer größeren Zahl von menschlichen Samenproben gesunder und subfertiler Probanden einzusetzen und den Wert dieser Methode für die Fertilitätsdiagnostik abzuklären. Aus diesem Grund schien auch eine quantitative bzw. statistische Auswertung der durch die Registrierung erfaßten Meßgrößen angezeigt.

II. Zur mikroskopischen Anatomie des Spermatozoon

Wegen ihrer fadenförmigen Gestalt bezeichnete man die Samenzelle im vergangenen Jahrhundert als Samenfaden. Dann hat sich auf Vorschlag von WALDEYER (1901) die Bezeichnung "Spermium" durchsetzen können. Nach KOELLIKER (1902) unterteilt man das menschliche Spermium in mehrere Abschnitte, die zunächst durch ihre unterschiedliche Dicke auffallen. Am meisten imponiert der vorderste Teil, der Kopf, der einen runden bis elliptischen Umriß besitzt und von der Seite betrachtet zugespitzt erscheint. Seine Größe beträgt 4,3-5,2 μm in der Länge und 2,9-3,6 μm in der Breite. Das Licht wird durch ihn auffällig stark gebrochen. Hinter dem Kopf befindet sich eine 1 μm lange, eingeschnürte Zone, die als Hals bezeichnet wird. Danach beginnt der eigentliche Schwanzabschnitt des Spermium, der von RETZIUS (1881) in 3 Elemente aufgegliedert wurde. Danach besteht das Schwanzstück aus einem Mittelstück von 5-6 μm , einem Hauptstück von 40-45 μm und schließlich aus dem Endstück von 6 μm Länge. Erst mit dem Einsatz des Elektronenmikroskops ist es gelungen, den feineren Bau des menschlichen Spermatozoon darzustellen und unsere Kenntnisse über seine Anatomie und Funktion in erheblichem Maße zu erweitern (FAWCETT 1958). Die Samenzelle wird vollständig von einer elektronenoptisch nachweisbaren Zellmembran umgeben. Der Abplattung des vorderen Kopfabschnittes liegt eine kappenartig aussehende Formation direkt auf, das Akrosom. Das Akrosom wird während der Spermatidenreifung im Golgiapparat gebildet und umgibt den Spermienkopf in seinem vorderen Abschnitt. Der Kopf enthält den Zellkern, dessen Chromatin extrem stark kondensiert ist. Das kurze Halssegment verbindet den postakrosomalen Teil des Kopfes mit dem Halsabschnitt des Spermiums. Es ist aus den beiden Zentriolen hervorgegangen, wobei das proximale Zentriol eine Art Gelenk für den Kopf bildet, während das distale Zentriol zurückgebildet wird und zur Ursprungsstelle für das zentrale Axonema wird, welches die ganze Zelle bis zum Schwanzende durchzieht. Die Anordnung sowie die Zahl der Fibrillen entspricht dem bekannten Aufbau von Geißeln und Zilien. Im Querschnitt finden sich im Zentrum zwei Fibrillen.

Um diese herum liegen in regelmäßiger Anordnung 9 weitere Doppel-fibrillen, so daß man von einer "9x2+2"-Struktur spricht. Das Mittelstück wird auf einer äußeren Mitochondrienschicht, einer darunter gelegenen Faserscheide und einem zentralen Axonema aufgebaut. Die Mitochondrienschicht endet mit einer ringähnlichen Struktur, dem Anulus. An diesen schließt sich im Bereich des Hauptstückes die äußere Faserscheide an, die aus einer dorsalen und ventralen Längssäule besteht. Beide Längssäulen sind über Querrippen miteinander verbunden. Der nun folgende Schwanzabschnitt enthält lediglich die "9x2+2"-Struktur sowie eine diese umschließende unter der Zellmembran liegende Hüllschicht, die sich zum Schwanzende hin verliert. An der Schwanzspitze löst sich die bekannte Ordnung des Fibrillensystems unregelmäßig auf (BARGMANN 1967). Die heutige Auffassung von der Morphologie der menschlichen Samenzelle gibt die Abb. 1 wieder.

Über den Mechanismus der Bewegungsentstehung ist im einzelnen noch wenig bekannt. Der kinetische Apparat des Spermatozoon befindet sich im Schwanzabschnitt. Es wird angenommen, daß das zentrale Axonema für die Geißelbewegung verantwortlich ist, wobei die Schlagrichtung durch die Längssäulen der äußeren Faserscheide vorgegeben wird. Biochemisch konnte ein Actin-Dynein-System nachgewiesen werden (MOHRI u. OGAWA 1975). Über die Koordination der Schwanzbewegung besteht noch weitgehend Unklarheit, jedoch lassen sich dekapitierte Säugetierspermien durch Zugabe von Adenosintriphosphat reaktivieren (NELSON 1966/1970 u. BROKAW 1961). Ebenso kann eine Motilität des experimentell durch Triton X-100 isolierten Bewegungsapparates durch den Gehalt an energieliefernden Substanzen (ATP) im Verdünnungsmedium nahezu bei allen Präparaten ausgelöst werden (GIBBONS u. GIBBONS 1972, LINDEMANN u. GIBBONS 1975).

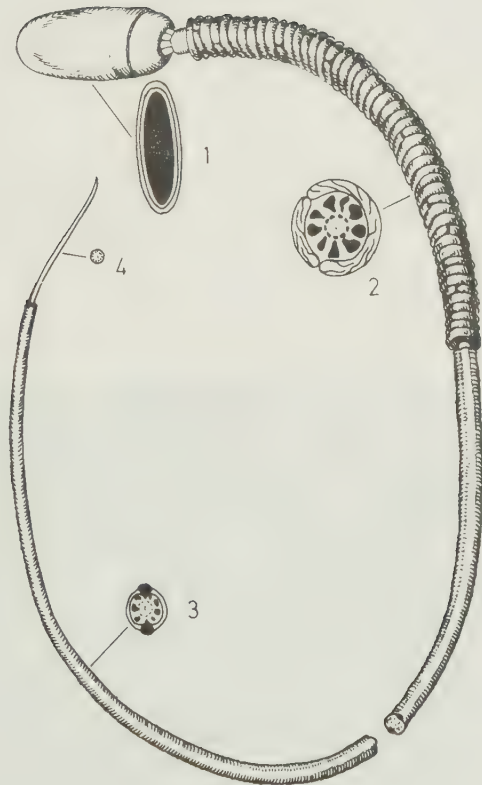


Abb. 1 Schematische Darstellung einer menschlichen
Samenzelle mit Querschnitten nach elektronen-
mikroskopischen Befunden (nach FAWCETT 1975)
1 Kopf, 2 Mittelstück, 3 Hauptstück, 4 Endstück

III. Die mikroskopische Darstellung von Samenproben

Grundsätzlich nimmt unser Auge ebenso wie die photographische Schicht Amplitudendifferenzen der Lichtstrahlen als Hell-Dunkel-Kontraste und Änderungen der Wellenlänge als Farben wahr. Phasenverschiebungen von Lichtstrahlen können jedoch nicht erfasst werden.

1. Hellfeld

Biologische Objekte wie tierische und menschliche Spermatozoen zeigen, insbesondere wenn diese sich bewegen, bei der üblichen Technik in der Mikroskopie einen unbefriedigenden Kontrast. Ebenfalls ist die Detailwiedergabe hierbei dürftig, weshalb man sich mit verschiedenen Färbemethoden behelft, um Kontraste und Einzelheiten besser erkennen zu können.

2. Phasenkontrast

Das Phasenkontrastverfahren weist enge Beziehungen zur Dunkelfeldtechnik auf. Es beruht auf der Umsetzung von Phasenverschiebungen in Amplitudendifferenzen und damit in Helligkeitsunterschieden, die sowohl mit dem Auge als auch photographisch erfassbar sind. Gerade für die Betrachtung ungefärbter kontrastarmer Objekte wie lebende Zellen und Gewebe hat sich dieses Verfahren schnell durchgesetzt und findet besonders für die Vitalbeobachtung von menschlichem und tierischem Samen genaue Anwendung. Die Detailwiedergabe kann als sehr gut angesehen werden. Leider ergeben sich neben den bereits genannten Vorteilen auch optische Artefakte. So wird z.B. der Rand der Objekte (H. THIMANN 1966) bei der Samenzelle besonders der Kopf in geringem Maße auch das Mittelstück, durch einen Halo übermäßig betont.

3. Dunkelfeld

Der Hauptunterschied zum Phasenkontrast besteht bei der Dunkelfeldtechnik darin, daß kein direktes Licht ins Objektiv gelangt. Dieses wird durch den Dunkelfeldkondensor an der Objektivapertur vorbeigeführt. Der Kontrast wird dadurch extrem gesteigert, wodurch sich

ein brillantes Bild von einzelnen Zellen ergibt. Das Spermatozoon erscheint gleich einem umgekehrten Scherenschnitt mit scharfen Konturen (Abb. 2). Der Kopf, das Mittelstück und der Schwanz sind gut voneinander abgrenzbar, vor allem durch ihre unterschiedliche Leuchtdichte. Leider lassen sich bei diesem Verfahren auch Nachteile angeben. Details werden nicht erfaßt. Das Präparat muß besonders säuberlich hergestellt werden, da eventuelle Verunreinigungen schonungslos aufgedeckt werden. Ungünstige Auswirkungen hat auch jegliche Abweichung von der normal üblichen Dicke von Objektträger und Deckglas (SCHENK u. KISTLER 1960).



Abb. 2 Mikrophotographie von menschlichen Samenzellen
im Dunkelfeld. Belichtungszeit 1 Sek.

IV. Gewinnung, Präparation und klinische Auswertung der Samenproben

Untersucht wurden 98 Samenproben von Männern zwischen dem 18. und 60. Lebensjahr, die die andrologische Abteilung der Universitäts-Hautklinik Marburg zur Abklärung von Fertilitätsstörungen aufsuchten. Das Ejakulat wurde durch Masturbation gewonnen. Von 2 Männern wurde der Samen (ca. 2 Stunden alt) zur Untersuchung mitgebracht. Der klinische Status und die Laboruntersuchung wurde immer unter vergleichbaren Bedingungen von gleichen Personen vorgenommen. Die Zellzahl pro cm^3 wurde vom Laboranten nach der Fählmethode von Döpfner-Heinke vorgenommen, wobei die Auszählung der gesamten Mittelquadrate der Thomakammer vorgenommen wurde. Die prozentuale Motilität der Samenzellen ergab sich durch Bestimmung aller vitalen Zellen in 20 Blickfeldern bei kleinem Objektivfenster.

Aufbewahrung und Transport der Samenprobe erfolgte in einem dicht verschließbaren Styroporbehälter in Dunkelheit und konstanter Temperatur. Um Vergleiche zur Laboruntersuchung der Klinik mit unseren Untersuchungen zu ermöglichen, wurde bei Zimmertemperatur (um 20°) gearbeitet. Die Samenproben wurden sofort nach Erhalt untersucht, so daß die Zeitspanne bis zu unserer Untersuchung nicht länger als 4 Std. betrug.

Mit einem Tropfen der zuvor gut durchmischten Spermaprobe wurde eine Kammer (Typ Helber) mit einer Kammertiefe von 0,02 mm beschickt. Nach kurzem Warten bis die Strömungen in der Kammer zum Stillstand kamen, konnte mit der Registrierung des SMKG begonnen werden. Im Regelfall genügte eine Registrierzeit von 15 Sek. Danach wurde die Kammer mit klarem Wasser abgespült und sorgsam mit einem Leinenlappen getrocknet. Hierbei muß besonders darauf geachtet werden, daß die polierten Flächen nicht zerkratzt werden, da sich dieses im Dunkelfeld sehr nachteilig auswirkt.

Von 86 Proben wurden gleich nach Erhalt 2 Motilitätsmessungen mit dem SMKG an unterschiedlichen Orten des gleichen Präparates vorgenommen. Danach wurde nochmals nach 5 Std. ein Präparat der Samenprobe hergestellt und zwei verschiedene Stellen der Kammer registriert. 12 Proben wurden nur an einer Stelle kymographiert.

V. Das Spermio-Streifenmikrokymographische Aufnahmeverfahren (SMKG)

Wie bei allen photographischen Verfahren zur Aufzeichnung mikroskopischer Objekte und ihrer Bewegungen liefert auch bei diesem Verfahren das Mikroskop (in unserem Falle ein Forschungsmikroskop Universal, Zeiss) das Objektbild, welches in die Registrierebene der speziellen Aufnahmekamera projiziert wird (Abb. 3). Davor liegt eine Spaltblende, über die sich ein Film mit gleichbleibender Geschwindigkeit bewegt. Der Spalt verläuft im rechten Winkel zur Filmtransportrichtung. Aus dem Objektbild wird so lediglich ein Streifen (= Spaltblendenfenster) zur photokymographischen Aufnahme eingeblendet, wobei die fortwährende Filmbewegung die kontinuierliche Registrierung aller im Spaltblendenfenster ablaufenden Bewegungen erlaubt. Neben dem Abbildungsmaßstab bestimmt die Länge des Spaltes (24 mm) den erfaßten Objektausschnitt. Die Spaltbreite beträgt 0,5 mm, so daß bei dem Abbildungsmaßstab von 1:40 nur ein Objekt von maximal 5 μ m Breite erfaßt wird. An der Unterkante des Spaltblendenfensters (s. Skizze Abb. 3) ist eine Photodiode eingebaut, die über einen Impulsgeber jede Sekunde den Film mit einem punktförmigen Lichtblitz belichtet.

Unbewegte Elemente im Objekt werden als Streifen auf dem Film abgebildet. Bewegte Objekte im mikroskopischen Präparat "zeichnen" vielgestaltige Kurven auf den Film, die von CASTENHOLZ (1974) "Funktionsfiguren" genannt wurden. Die Form der Aufzeichnung hängt sowohl von der Geschwindigkeit des Filmes als auch von der Geschwindigkeit des Objektes ab. Als Kamera dient eine Recorder III (Robot) Registrieranlage, die technisch etwas verändert wurde. Der Verschluß der Kamera wird über das Robot Steuergerät B IV bedient. Den gleichmäßigen Filmtransport besorgt eine am Recorder angebrachte Motoreinheit (Gleichstrommotor mit Tachygenerator). Der Motor wird stufenlos betrieben und die Drehzahl linear gesteuert. Die Abweichung von der eingestellten Drehzahl liegt unterhalb 0,25%. Die Filmtransportgeschwindigkeit beträgt konstant

8,1 mm/Sek.. Für die MKG-Technik verwenden wir ausschließlich Ilford FP-4 Safety Filme. Alle Untersuchungen werden in Dunkelfeldbeleuchtung vorgenommen, bei der wir eine Xenon Hochdrucklampe verwenden.

Abb. 3 (S. 14)

Die spermiomikrokymographische Apparatur (nach Castenholz) und schematische Darstellung des Abbildungsvorganges.

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| a) Kamera | 1) Zeitmarke |
| b) Mikroskop | 2) Spaltblende |
| c) Steuergerät f. Verschuß | 3) Abbildungsebene |
| d) Zeitimpulsgeber | 4) Okular |
| e) Trafo f. Hochdrucklampe | 5) Objektiv |
| f) Steuergerät f. Filmantrieb | 6) Objektebene |

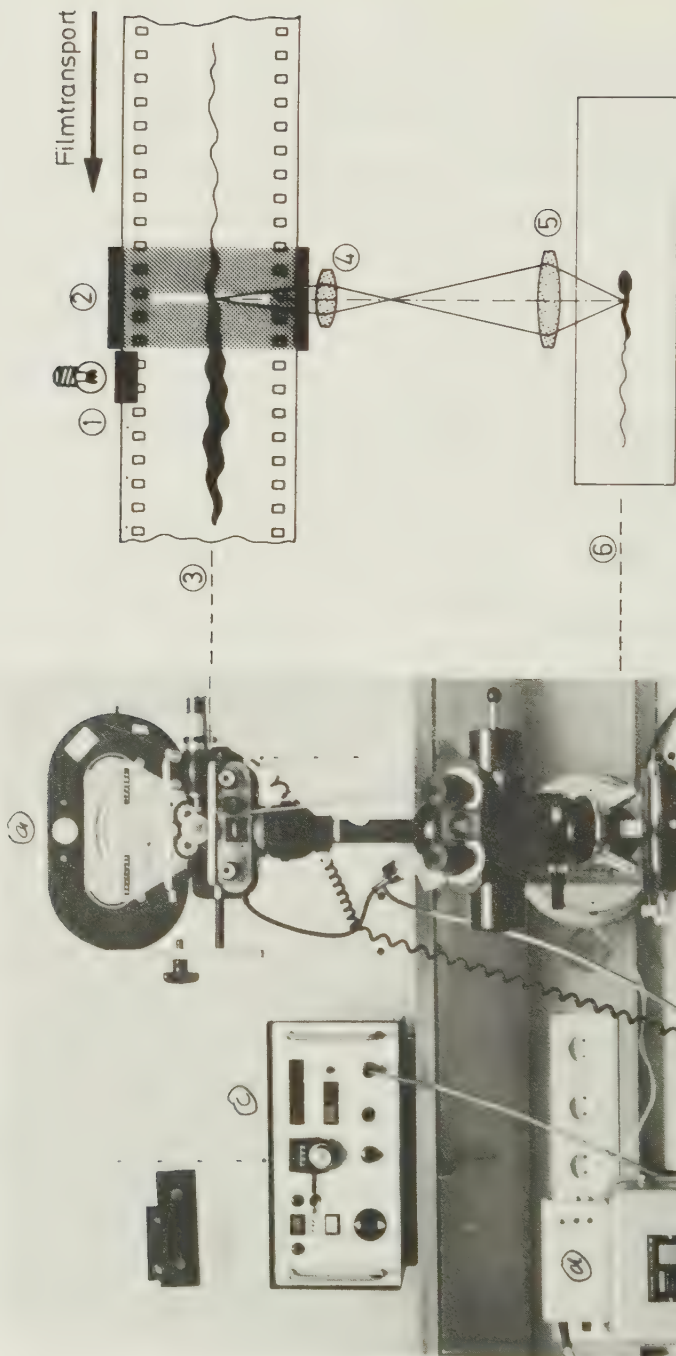


Abb. 3

VI. Auswertung des SMKG

Dadurch, daß nicht alle beweglichen und unbeweglichen Spermien des Gesamtejakulates gezählt werden können, - das wären bei durchschnittlich 3 ml Ejakulatmenge und 60 Mill. Zellen/ml 180 Mill. - muß man sich auf einen zeitlich und vom Aufwand her vertretbaren Kompromiß einlassen. Damit ist klargestellt, daß exakte Ergebnisse nicht erreichbar sind und ein mehr oder weniger großer Fehler berücksichtigt werden muß. Dem Bemühen, diesen Fehler so gering als möglich zu halten, dienen alle Versuche, die Motilität der Spermatozoen objektiv festzuhalten. Sämtliche Methoden, objektive wie subjektive, arbeiten nach einem Stichprobenprinzip. Aus der Gesamtmenge des Ejakulats wird eine Probe entnommen und damit der Objektträger bzw. Kammer beschickt. Aus diesem flachen Raum wird nun wiederum nur ein kleiner Teil zur Erfassung herausgenommen. Deshalb muß vorausgesetzt werden, daß die Samenprobe homogen ist. Es ist andererseits offensichtlich, daß die Richtung in die sich die Samenzellen in nicht strömenden Flüssigkeiten bewegen regellos verteilt ist (ROTHSCHILD 1953, TIMOURIAN 1970).

1. Bewegungsanalyse propulsiver Spermatozoen

Überquert ein Spermium das Spaltblendenfenster im rechten Winkel, so bildet es sich auf dem darüberlaufenden Film ab. Seine vorderen Elemente werden besonders deutlich erfaßt. Der Kopf als kurzer aber hell leuchtender Abschnitt hinterläßt eine breite deutliche Spur. Danach wird das Mittelstück auch noch gut abgebildet. Jedoch kann der Schwanz wegen seiner geringen Stärke und damit verbundenen geringen Leuchtdichte photokymographisch meistens nicht registriert werden. Diese Art der Darstellung ist von der Richtung der Bewegung unabhängig. Die resultierende Bewegungsfigur von Kopf und Mittelstück zeigt bei gleicher Geschwindigkeit von Spermium und Film verzerrungsfreie Proportionen sowie eine wellenförmige Bewegungskurve (Funktionsfigur) (Abb. 4). Ist die Filmgeschwindigkeit gegenüber der Spermatozoengeschwindigkeit kleiner, so wirkt die Figur gestaucht; ist der Filmtransport

schneller, so erscheint die Bewegungskurve gestreckt. In beiden Fällen findet sich somit eine Verzerrung, die von der Spermatozoengeschwindigkeit abhängig ist. Bei bekannten Abmessungen der Samenzelle, bekannter Filmgeschwindigkeit und bekanntem Abbildungsmaßstab ist so die Errechnung der Spermatozoengeschwindigkeit möglich (CASTENHOLZ 1974). Für diese Beziehung gilt:

$$V_{(\text{Spermium})} = \frac{V_{\text{film}} \cdot i}{f}$$

wobei V_{film} = Filmtransportgeschwindigkeit

i = Verzerrungsfaktor

f = Vergrößerungsfaktor

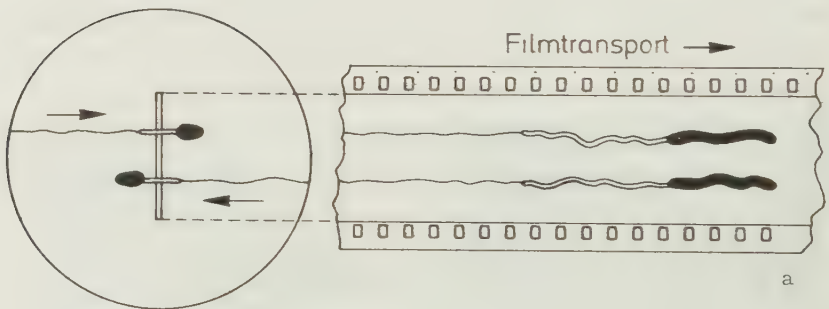


Abb. 4a Schema der Registrierung von rechtwinklig zur Spaltblende kreuzenden Spermatozoen: Abbildungen (wellenförmige Bewegungskurven) unabhängig von der Bewegungsrichtung.

Abb. 4b Verzerrung der Proportionen (Dehnung der Bewegungskurve).

Ändert sich der Anstichwinkel der Bewegungsbahn eines Spermatozoon zum Spaltblendenfenster, so wird aus der Kreuzungsstelle eine Kreuzungsstrecke. Die Proportionen der Samenzellabschnitte bleiben zwar erhalten, jedoch treten nunmehr zunehmend Überlagerungen von einzelnen Bewegungskomponenten auf. Das Spermium wird somit verzerrt abgebildet (Abb. 5).

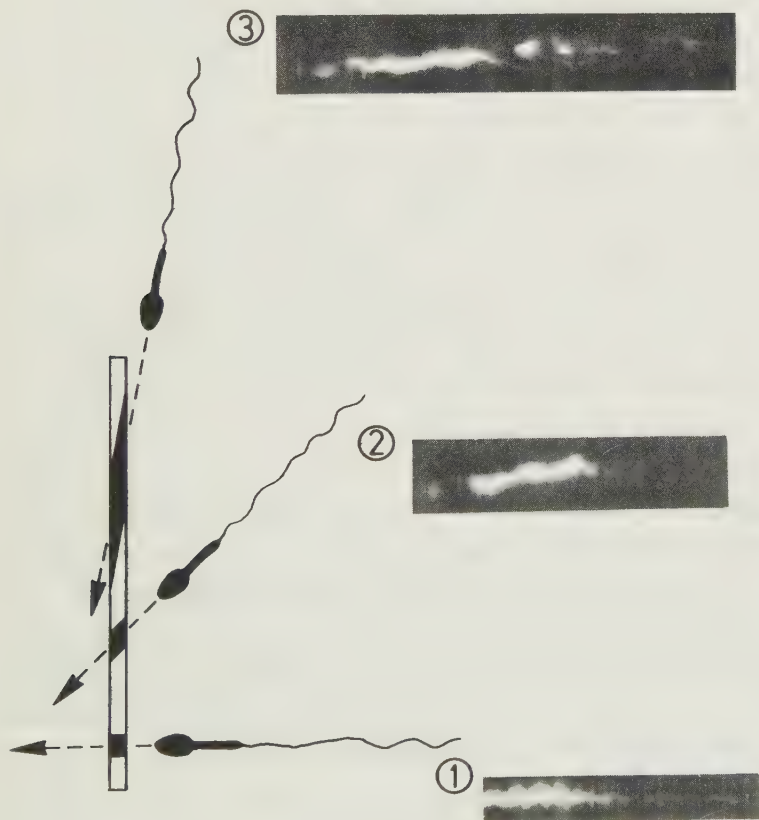


Abb. 5 Bewegungsfiguren bei unterschiedlichem Anstichwinkel von Spermium und Spaltblendenfenster.

1) 90° , 2) 45° , 3) 10°

Die Entschlüsselung dieser Mikrokymogramme gestaltet sich bei der Bewegungsvielfalt recht schwierig. Dieses gilt weniger für den Kopf, dessen Bewegungen innerhalb abgrenzbarer Formen bleibt. Bei dem ebenfalls registrierbaren Mittelstück finden sich Komplexe, teilweise sich überlagernde Bewegungen, die der Analyse schwieriger zugänglich sind. Die Amplituden der Bewegungsausschläge für Kopf und Mittelstück sind jedoch recht klein und lassen sich für die stärker propulsiven Spermien mit durchschnittlich 10 μ m angeben. Erst bei einem Anstichwinkel, der kleiner als 15° wird, gehen diese Bewegungsfiguren allmählich in eine zur Filmtransportrichtung schräg verlaufende Linie über. Hierbei treten im Registrat stärkere Überlagerungen von Kopfzone und Mittelstück auf. Geht der Anstichwinkel gegen 0° , so bewegt sich das Spermium als "Spaltläufer" entweder für eine kürzere oder längere Strecke auf der Spaltlängsachse. Man erhält hierbei Registrate, bei denen der Kopfteil dominiert. Dieser hinterläßt eine homogene Bewegungslinie, die einen Winkel (α) zur Filmbewegungsrichtung aufweist. Dieser Winkel ist einerseits von der Filmtransportgeschwindigkeit, andererseits von der Geschwindigkeit des propulsiven Spermatozoon abhängig.

Die Bewegungsrichtung der Samenzelle ist hier ebenfalls erkennbar, d.h. ob die Zelle das Spaltblendenfenster von oben nach unten oder von unten nach oben durchquert (Abb. 6). Läßt man die Filmtransportgeschwindigkeit (V_{film}) unverändert, so kann man aus der Wegstrecke (a) des Spermiums (Meßstrecke im SMKG dividiert durch den Vergrößerungsfaktor) und der dazugehörigen Zeitmeßstrecke (b) auch die Spermatozoengeschwindigkeit bestimmen. Es gilt somit die Beziehung:

$$V_{\text{sperm.}} = \frac{a}{b}$$

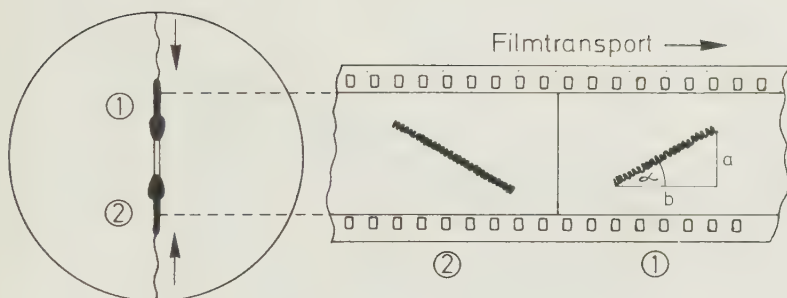
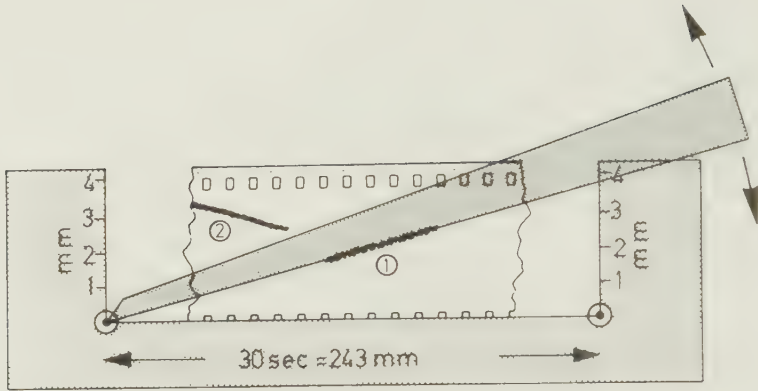


Abb. 6 Bewegungsfuren von Spaltläufern.

- 1) Spermatozoon bewegt sich von oben kommend entlang der Spaltblende
- 2) Samenzelle bewegt sich von unten kommend entlang der Spaltblende

Unsere Ergebnisse stützen sich vor allem auf die Geschwindigkeitsmessung der entlang des Spaltblendenfensters schwimmenden Spermatozoen. Insgesamt wurden bei 87 Proben, bei denen auswertbare Spaltläuferfiguren im SMKG vorlagen, 721 Einzelmessungen durchgeführt. Da die Fortbewegungstendenz bei einigen Spermatozoen sehr gering sein kann und fließende Übergänge bis zur Ortsbewegung häufig beobachtet werden, ist eine generelle Angabe über ein Geschwindigkeitsminimum nicht möglich. Geschwindigkeiten unter 0,5 mm/Min. können im SMKG nicht mehr erfaßt werden, da Spermatozoen mit dieser geringen Fortbewegungsgeschwindigkeit meist weitschwingende, wurmartige Bewegungen mit Kopf und Schwanz ausführen, welche lediglich als weit ausgezogene Serie von Linien kymographiert wird.

Zur Ausmessung der Spaltläuferfiguren haben wir ein einfaches Meßgerät entwickelt, das durch Winkelmessung der Spaltläuferfigur das direkte Ablesen der Spermatozoengeschwindigkeit ermöglicht (Abb. 7).



① $V_{sp} = 3,8 \text{ mm/min}$

② $V_{sp} = 4,0 \text{ mm/min}$

Abb. 7 Meßvorrichtung zur Geschwindigkeitsbestimmung von Spaltläuferfiguren mit direkter Ablesbarkeit der Spermatozoengeschwindigkeit in mm/Min.

1)/2) Spermien mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung

Abszisse = Zeitachse mit genormter Meßstrecke

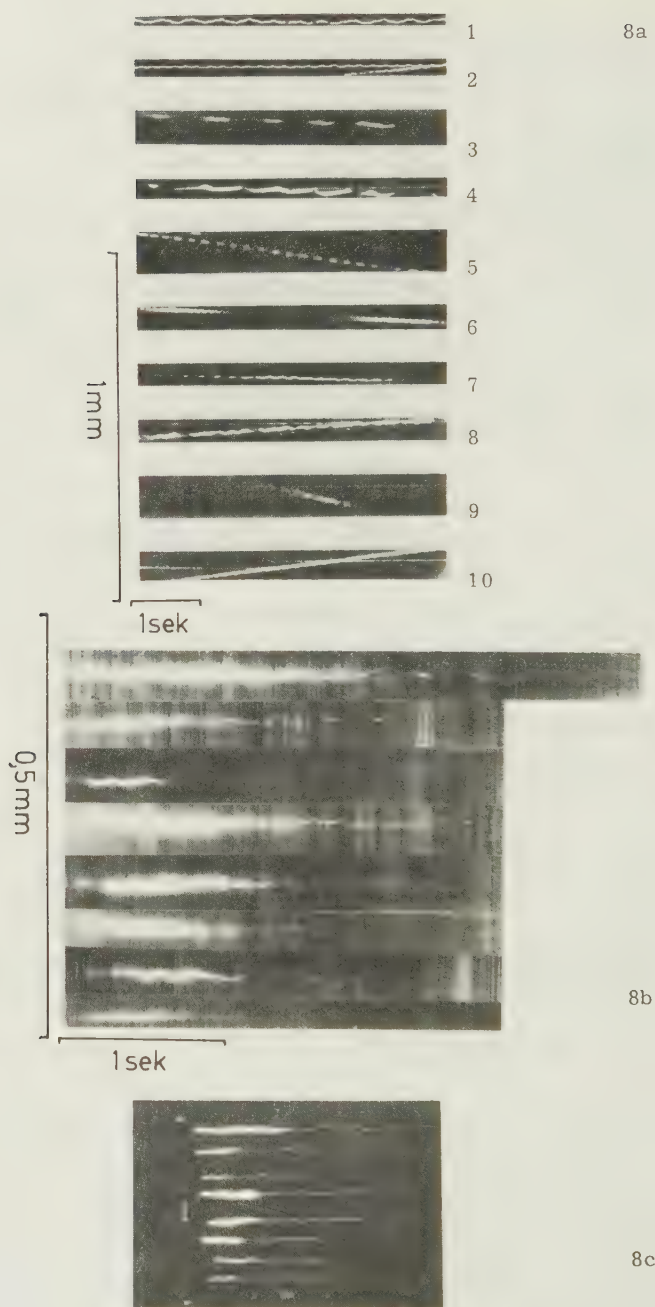
Ordinate = Wegstrecke entsprechend Abbildungsmaßstab

Hierbei konnten wir aus dem SMKG Maximalwerte bis $3,9 \text{ mm/Min.}$ ermitteln. Durch die untere Meßgrenze des SMKG können wir jedoch für den Meßbereich von $0,5$ bis zu den Maximalwerten von 6 mm/Min. (HARVEY 1959) Mittelwerte angeben. Diese liegen bei $\bar{V} = 1,26 \text{ mm/Min.}$ für Normospermien und $\bar{V} = 1,03 \text{ mm/Min.}$ für Oligospermien.

Unbewegliche Spermatozoen hinterlassen im SMKG einen durchgehenden Belichtungsstreifen, der je nach dem welcher Spermaabschnitt im Spaltblendenfenster liegt breiter oder schmaler ausfüllt (Abb. 10.8). Ebenso werden andere geformte Bestandteile des Ejakulates erfaßt (z.B. Samenkristalle, Leukozyten, Lymphozyten). Eine Unterscheidung, ob es sich dabei um unbewegliche Spermatozoen, Samenkristalle oder andere Körper handelt, läßt sich nicht treffen. Findet sich ein gesteigerter

Anteil dieser Bestandteile, so tritt regelmäßig eine gesteigerte Streifenbelichtung auf. Bewegliche, jedoch nicht propulsive Samenzellen zeichnen kontinuierliche und oszillierende Kurven in Filmtransportrichtung auf (Abb. 8a - 1 u. 2).

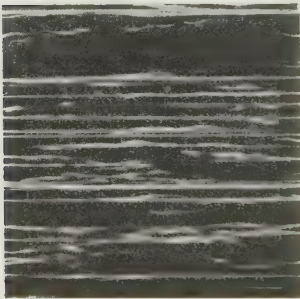
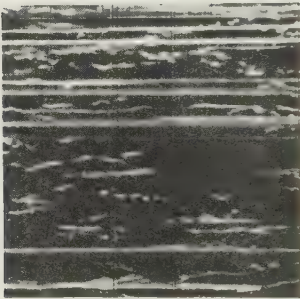
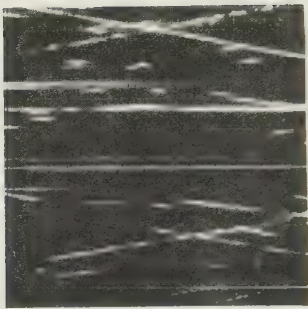
- Abb. 8a (S. 22) Zusammenstellung von Bewegungsmustern motiler Spermatozoen im SMKG
- 1) oszillierend, ortsständig
 - 2) wellenförmig, ortsständig
 - 3) propulsiv, weitschwingend, geringe Schlagfrequenz
 - 4) stoßend, schwingend
 - 5) kurze, schnelle Schwingungen
 - 6) vibrierende Kopfbewegung mit zeitweisem Richtungswechsel
 - 7) wellförmig, stoßend
 - 8) starke Bewegungen des Hals und Mittelstücks mit Überlagerungen der Kopfzone
 - 9) abgehackte, synkopische Bewegungsform
 - 10) geradlinige Fortbewegung mit minimaler Lateralbewegung des Kopfes
- Abb. 8b (S. 22) Zusammenstellung von Bewegungsfiguren rechtwinklig kreuzender Samenzellen.
- Abb. 8c (S. 22) Zeichnerische Reproduktion der Bewegungsfiguren von Abb. 8b.



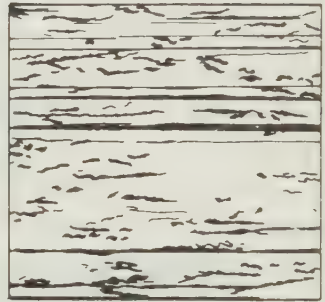
2. Analyse der "Bewegungssumme" des SMKG

Alle zuvor genannten Abbildungsmöglichkeiten geben dem SMKG mit unterschiedlicher Varianz der Mischung dieser Bewegungsarten sein Gepräge. Je größer der Anteil der beweglichen Elemente im Samen ist, umso mehr Bewegungsmuster enthält der Film. Die Belichtungssumme von allen das Spaltblendenfenster durchlaufenden Bewegungen und auf dem Spalt liegenden Korpuskeln führt zu einem komplexen Registrat. Als Resultante aller Bewegungsfiguren und Belichtungsstreifen entsteht so ein für jedes Ejakulat typisches Muster. Vorausgesetzt, daß der Samen homogen ist, lassen sich unabhängig von verschiedenen zur Registrierung herangezogenen Stichproben aus dem Ejakulat immer wieder typische Kymogramme schreiben. Diese Tatsache unterstreicht eindeutig den hohen Grad an Individualität, die nicht allein der Cytologie des Samens (MAC LEOD 1951, HARTMANN 1964, PEDERSEN 1969, ZAMBONI et al. 1971) sondern auch den Bewegungseigenschaften dieser Zellen zugesprochen werden kann. Die Mikrokymogramme können bei ausreichender Bewegungssumme fast wie ein Fingerabdruck dem betreffenden Individuum zugeordnet werden. Ist der Anteil an motilen Zellen groß und sind die Frequenzen und Geschwindigkeiten der Bewegungen hoch, wird man viele kurze und z.T. oszillierende Bewegungsbilder aufzeichnen (Abb. 9b).

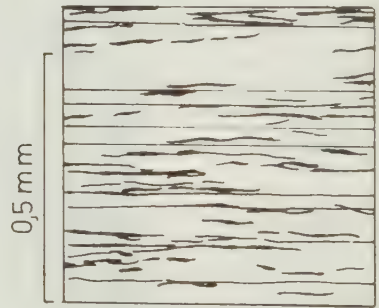
In seltenen Fällen bei denen die Mehrzahl der Spermatozoen vermehrt träge, schlangenförmige und ortsständige Bewegungen ausführen, spiegelt sich diese reduzierte Bewegungsdynamik ebenfalls im SMKG wider. Die Bewegungsfiguren werden insgesamt länger und ihre Formen wirken stark geglättet (Abb. 9c).



(a)



(b)



(c)

0,5 mm

1sek

Abb. 9 Gegenüberstellung von Mikrokytogrammen dreier Ejakulate mit unterschiedlicher Bewegungssumme

- a) Registrat und Reproduktion mit typischen Spaltläuferfiguren
- b) Kurze und wellenförmige Bewegungsfiguren bei großer Bewegungsdynamik
- c) Langgezogene, glattgestrichene Bewegungsbilder bei trägen und ortsständigen Bewegungen

3. Bestimmung des Spermiomotilitätsindex (SMI)

Neben der qualitativen Erfassung der Bewegungsvorgänge innerhalb einer Samenprobe liefert das SMKG darüberhinaus Werte zur quantitativen Bestimmung der gesamten Bewegungsaktivität. Diese wird bestimmt durch die Anzahl der im Ejakulat vorhandenen beweglichen Spermatozoen. Exakterweise kann hierbei nicht zwischen ortsständig, beweglichen und propulsiven Samenzellen unterschieden werden, da ortsständig, bewegliche Samenzellen im Spaltblendenfenster ihre Ortsbewegungen ausführen können und damit Bewegungsfiguren hinterlassen, die bei besonders großer Bewegungssumme im SMKG routinemäßig nicht immer von propulsiven Bewegungsfiguren abgegrenzt werden können. Unter Anwendung von standardisierten Versuchsbedingungen (definierte Spaltlänge 22 mm und Kammertiefe 0,02 mm) kann die Gesamtmotilität (Bewegungskapazität) quantitativ durch die Zahl der pro Zeiteinheit registrierten Bewegungsfiguren ausgezählt und als Spermiomotilitätsindex (SMI) angegeben werden. Diese Zahl ergibt ein verlässliches Maß für die Bewegungskapazität der Samenprobe. Bei der Bestimmung dieses Wertes gingen wir so vor: Jede Bewegungsfigur auf dem Kontaktabzug des Filmregistrates wird nun mit einer Zirkelnadel durchstoichen. Die Kontaktkopie wird nun umgedreht und die Anzahl der Stiche pro Zeitintervall (jeweils 10 bzw. 15 Sek.) ausgezählt. Bei hohem Motilitätsindex genügt die Registratstrecke von 10 Sek., bei geringem Motilitätsindex wurden Strecken von 15 Sek. gewählt. Die gewonnenen Werte werden auf 1 mm Spaltlänge und 1 Min. Registrierzeit umgerechnet. Wenige Samenproben, bei denen innerhalb der 15 Sek. keine Motilität erfaßbar ist, müssen u.U. über eine längere Zeit hinweg mikrokymographiert werden (60-90 Sek.). Dies gilt besonders für den Samen mit geringer Zelldichte und verminderter Beweglichkeit der Spermatozoen. Bei der Auszählung der Bewegungsfiguren ergeben sich für den SMI Werte von 0 - 3442. Der Mittelwert liegt bei 660,75 und 515,30 für die

beiden Kymogramme der 1. Messung (SMI 11, SMI 12) sowie 305,17 und 304,58 für die zwei Kymogramme der 2. Messung (SMI 21, SMI 22) nach 5 Std.

Eine Gegenüberstellung von SMKG mit unterschiedlichen Motilitätsindices enthält die Abb. 10.

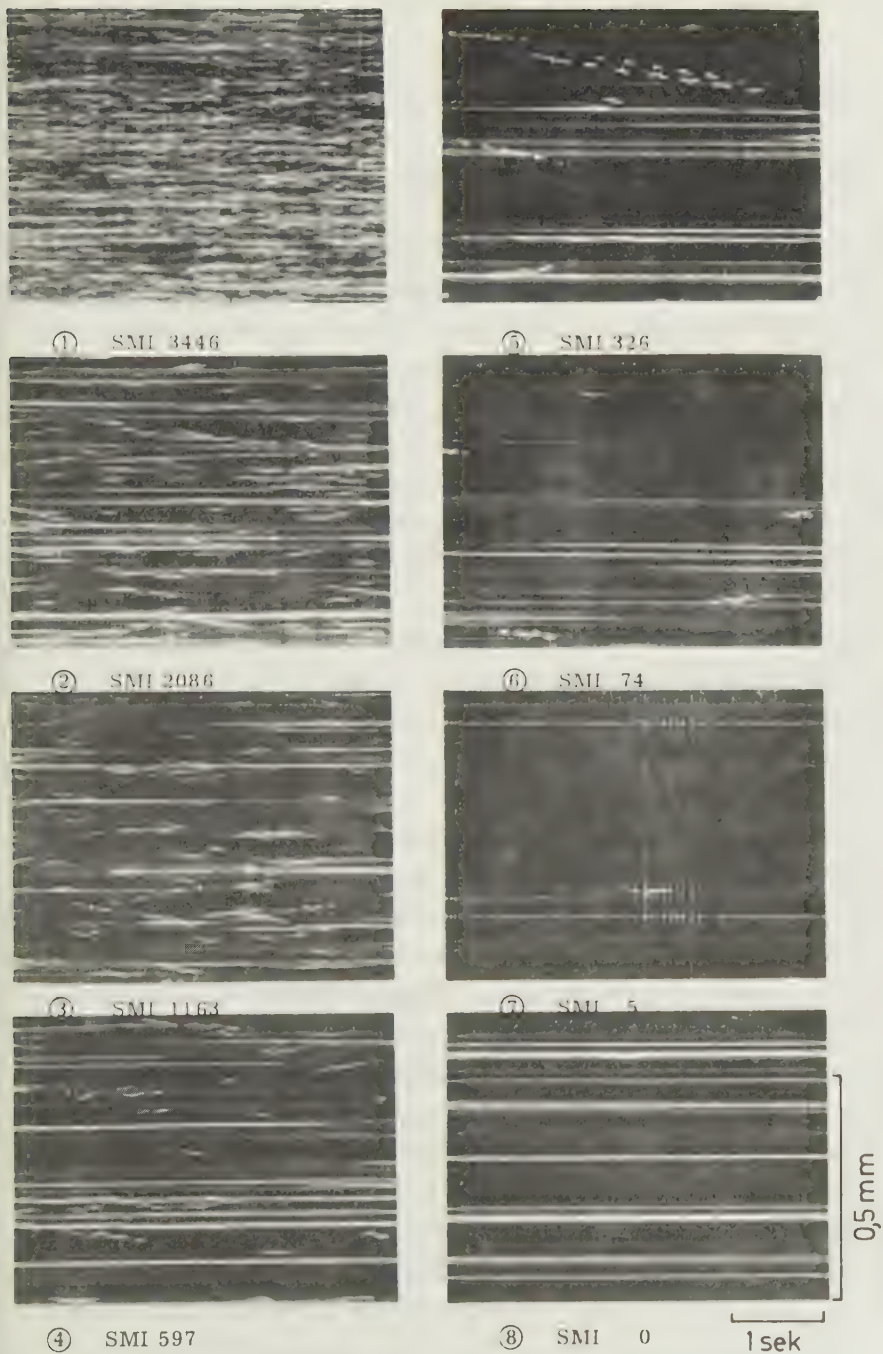


Abb. 10 Vergleich unterschiedlicher SMKG mit SMI von 0-3446.

VII. Quantitative Ergebnisse und statistische Auswertungen

Da die Ergebnisse der SMKG Auswertungen mit denen des Spermio-gramms in Beziehung gesetzt werden sollen, wurden alle verfügbaren Werte in die statistische Auswertung aufgenommen. Die Zählung der Zellzahl/cm³ (Variable 2) wurde vom Laboranten übernommen, für 63 Proben zusätzlich durch uns bestimmt (Variable 3), indem die Auszählung von 2 großen Quadraten (1 mm²) der Neubauer-Zählkammer erfolgte und daraus das Mittel gebildet wurde. Hierbei zeigten sich kleinere Differenzen zu den Laborwerten. Die Bestimmung der prozentualen Beweglichkeit (Variable 4) wurde mit der Zelldichte zu einem Wert zusammengezogen als Zahl der motilen Spermatozoen/cm³ Ejakulat (Variable 7).

Die statistische Berechnung wurde am Rechenzentrum der Philipps-Universität mit dem "Biomedical Computer Program BMD 07D" (DIXON 1971) durchgeführt. Damit wurden Verteilungen und Rangkorrelationen gerechnet.

Für die Berechnung der Korrelationen wurden zunächst von der Gesamtprobenzahl von n=98 2 Gruppen gebildet. Die Gruppe A (n=70) bildet diejenigen Samenproben, die innerhalb von 2 Std. nach der Spende mikrokymographiert werden konnten und die Gruppe B (n=28) besteht aus allen Proben, die bis zur Registrierung älter als 2 Std. waren. Unterschiede zwischen A und B konnten für alle Variablen nicht gefunden werden. Somit kann das 2 Std. Limit verlassen werden. Alle Proben wurden zur Berechnung der Verteilungen nach dem Arzturteil (Variable 1) in Normospermien (a) und pathologisches Sperma (b) getrennt. Insgesamt fanden sich dabei 53 Normospermien, 3 Hypozoospermien, 21 Oligospermien I, 16 Oligospermien II und 5 Oligospermien III. Zusammengekommen sind das 45 pathologische Ejakulate.

Das Arzturteil ist eindeutig von der Zelldichte abhängig. Die Verteilung zeigt bei Normospermien eine scharfe Trennung bei 40 Mill. Alle als pathologisch beurteilten Ejakulate liegen unterhalb dieser Grenze. Diese Abhängigkeit wird durch den hohen Korrelationskoeffizienten bei der Gruppe A von $r=0,895$ und der Gruppe B von $r=0,839$ betont (signifikant bei $p<0,01$). Die gleiche Beziehung besteht zu der Zahl der motilen Spermatozoen/cm³ (Variable 7) mit $r=0,884$ für A und $r=0,829$ für B (signifikant bei $p<0,01$). Geringere Korrelationen bestanden zur prozentualen Beweglichkeit (s. Korrelationstabelle S.40/41). Bei der Gruppe A liegt die Korrelation zwischen Arzturteil und dem SMI für alle 4 Messungen über $r=0,7$ (SMI 11 $r=0,75$, SMI 12 $r=0,80$, SMI 21 $r=0,72$, SMI 22 $r=0,76$, signifikant bei $p<0,01$). Bei steigender Zelldichte (Variable 2) findet sich eine Abhängigkeit zur prozentualen Beweglichkeit für A mit $r=0,54$ und für B $r=0,80$, bei $p=0,01$ sowie mit allen 4 SMI Werten von über $r=0,75$ (SMI 11 $r=0,81$, SMI 12 $r=0,78$, SMI 21 $r=0,76$ und SMI 22 $r=0,77$, signifikant bei $p<0,01$).

Das bedeutet allgemein, daß zwischen Motilität und Zelldichte sich ein linearer Bezug ergibt (Abb. 17), wobei jedoch im Einzelfall beide Werte des Spermigramms stark verändert sein können. Ferner scheint die maximale Geschwindigkeit für die erste und zweite Messung im SMKG (Variable 14 und 20) mit der Zelldichte in Beziehung zu stehen, da sich auch hier signifikante ($p<0,01$) Korrelationen für die Gruppe A mit $r=0,34$ und für B mit $r=0,39$ ergeben (Abb. 23).

Die Zelldichte des Labors und unsere Zählung korrelieren hoch mit $r=0,82$ der Gruppe A und $r=0,79$ der Gruppe B (signifikant bei $p<0,01$). Trotzdem scheint die Zählung durch den Laboranten genauer zu sein, da hierbei ein Trainingseffekt von Bedeutung sein kann. Die prozentuale Beweglichkeit korreliert neben den vorgenannten Variablen mit den 4 SMI Werten mit $r=0,39$ (signifikant bei $p<0,01$). Zwischen Normospermien und Oligospermien besteht ein Varianzunterschied der hochsignifikant ist (Abb. 11).

Das Alter der Patienten (Variable 5) streute zwischen dem 18. und 60. Lebensjahr und erreicht zu keiner Variable irgendeine signifikante Beziehung. Unterschiede in den Varianzen zwischen Normospermien und Oligospermien bestehen nicht (Abb. 12). Das Alter ist somit für alle uns zur Verfügung stehenden Daten aus dem Spermogramm und der objektiven Messung mit dem SMKG bedeutungslos. Vergleichbares gilt für das Probenalter (Variable 6) von der Spende bis zur Registrierung mit dem SMKG. Lediglich bei der Durchschnittsgeschwindigkeit (Variable 13) und der Maximalgeschwindigkeit (Variable 14) der ersten SMKG Messung taucht eine gerade signifikante Korrelation ($p < 0,01$) bei der Gruppe A mit $r=0,35$ und $r=0,36$ bei B auf. Dieser Befund scheint jedoch zufällig zu sein, da bei der zweiten SMKG Messung keine Signifikanz nachzuweisen ist.

Die Abhängigkeit der Zellzahl und der prozentualen Beweglichkeit und der Zahl der motilen Spermatozoen sind einmal durch die Zusammenziehung dieser Variablen von der Zelldichte und der prozentualen Beweglichkeit klargelegt. Somit bestehen auch hierbei Beziehungen zu den 4 SMI Werten.

Der SMI wird bestimmt durch die Bewegungssumme der Samenprobe und ist eine zusammengesetzte Größe aus der Zellzahl und der Beweglichkeit der einzelnen Spermatozoen. Er umfaßt einen Bereich vom Wert 0 bis zu den Werten von 3446. Bleibt der prozentuale Anteil der motilen Spermatozoen bei steigender Zellzahl gleich (Abb. 11a), so steigt der SMI linear an (Abb. 17). Der SMI wird statistisch als ein gutes Maß für die Beweglichkeitsbestimmung von Spermatozoen abgesichert. Die Interkorrelationen der 4 Meßdaten liegen alle über $r=0,85$ und sind damit hochsignifikant ($p < 0,01$). Einmal besteht eine Parallelreliabilität zwischen SMI 11 (Variable 8) und SMI 12 (Variable 9) sowie zwischen SMI 21 (Variable 10) und SMI 22 (Variable 11) und zudem eine Wiederholungsreliabilität zwischen SMI 11 und SMI 21 sowie SMI 12 und SMI 22. Das heißt, die Einzelmessungen sind austauschbar. Die Mittelwerte, Standardabweichungen und Varianzen sind den Abb. 13-16 zu entnehmen.

Bei allen Spaltläuferfiguren der ersten und zweiten Messung wurden die Schwingungsfrequenzen des Kopfes nachgemessen. Diese lagen hierbei zwischen 3 und 14 Schwingungen/Sek. Bei den Maximalwerten lag das Mittel bei $f=9-10/\text{Sek.}$, im Durchschnitt auf alle Meßdaten bei $f=8/\text{Sek.}$ Diese Variablen (15-17 und 21-23) weisen Beziehungen zu den Minimal- und Durchschnittsgeschwindigkeiten der Gruppe A auf. Durch das Fehlen jeglicher Korrelation zu den Maximalgeschwindigkeiten scheint eine Interpretation wenig sinnvoll.

Zunächst wurden von allen 721 Geschwindigkeitsmessungen der ersten und zweiten Registrierung die Minimal-, Mittel- und Maximalwerte ausgewertet. Die Minimalwerte, die einen methodischen Artefakt enthalten wurden lediglich zur Definition der Meßgrenze des SMKG herangezogen. Die Interpretation der mittleren Geschwindigkeitswerte muß sehr zurückhaltend vorgenommen werden, da diese durch das Fehlen einer ausreichenden Zahl an Minimalgeschwindigkeiten durch die Maximalwerte stark geprägt werden. Die durchschnittliche Geschwindigkeit liegt bei den Normospermien im Mittel mit 1,2 mm/Min. geringfügig höher als bei den Oligospermien. Ein Varianzunterschied ließ sich jedoch hierbei nicht feststellen (Abb. 19 und 21). Die mittlere Geschwindigkeit der ersten und zweiten Messung korrelieren untereinander und mit dem SMI 11/12/22, was durch die Korrelation zu den Maximalwerten belegt wird. Die Maximalgeschwindigkeiten der ersten und zweiten Messung korrelieren untereinander mit $r=0,49$ sowie mit den 4 SMI Werten mit über $r=0,45$ ($p < 0,01$) (Abb. 23). Bei den Maximalgeschwindigkeiten der ersten Messung trat gerade ein Varianzunterschied zwischen Normospermien und Oligospermien auf, der jedoch bei der zweiten Messung nicht mehr wiederkehrt (Abb. 20 und 22). Wenn auch die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit der Spermatozoen und den vorgenannten Variablen (2,8,9,10,11) nicht hochsignifikant ausfallen, so ergibt sich daraus dennoch ein Hinweis auf die Bedeutung dieser Größe für die Spermabeurteilung.

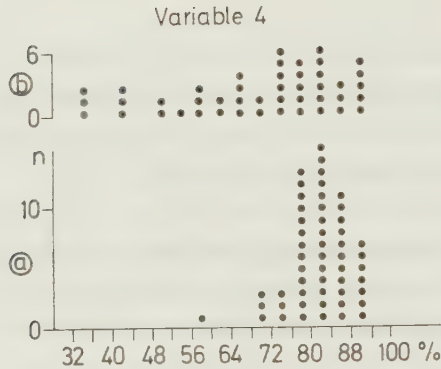


Abb. 11 Kennwerte und Verteilungen der prozentualen Beweglichkeit

a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 80,79
Standardabweichung 6,22

b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 68,51
Standardabweichung 16,34

Mittelwertunterschied bei $F_{1;96;0,001} = 11,97$

F Ratio 25,59

(F-Werte aus SACHS 1969)

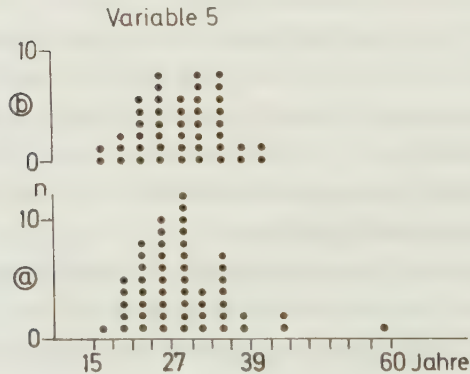


Abb. 12 Kennwerte und Verteilungen des Alters der Patienten

a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 30,73
Standardabweichung 7,31

b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 31,22
Standardabweichung 6,02

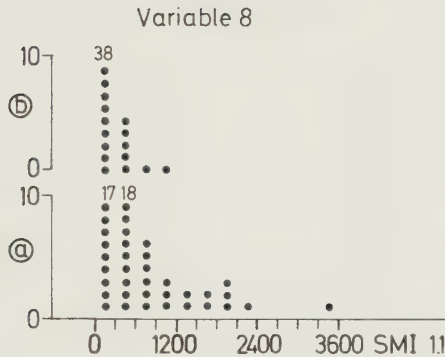


Abb. 13 Kennwerte und Verteilungen des SMI 1.1

- a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 660,75
Standardabweichung 691,16
- b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 142,35
Standardabweichung 198,75

Mittelwertunterschied bei $F_{1,96;0,01} = 6,93$

F Ratio 23,62

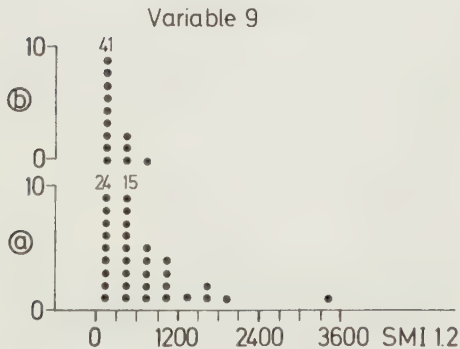


Abb. 14 Kennwerte und Verteilungen des SMI 1.2

- a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 515,30
Standardabweichung 601,19
- b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 105,95
Standardabweichung 141

Mittelwertunterschied bei $F_{1,96;0,01} = 6,93$

F Ratio 19,90

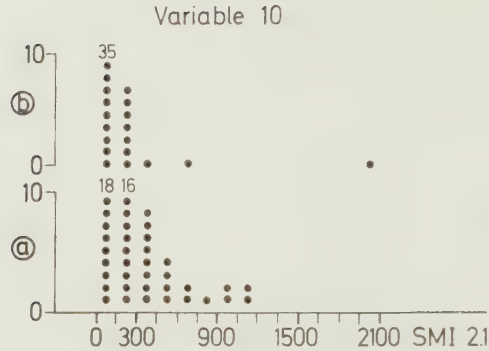


Abb. 15 Kennwerte und Verteilungen des SMI 21

a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 305,17
Standardabweichung 284,20

b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 127
Standardabweichung 315,95

Mittelwertunterschied bei $F_{1;96;0,01} = 6,95$

F Ratio 8,63

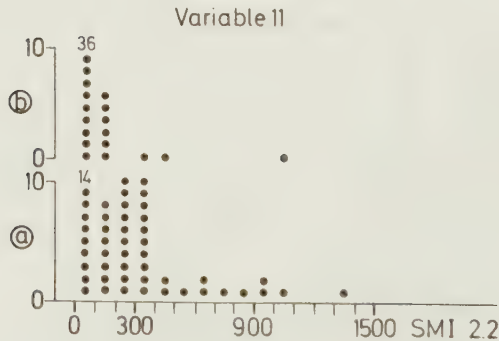


Abb. 16 Kennwerte und Verteilungen des SMI 22

a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 304,58
Standardabweichung 306,40

b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 76,2
Standardabweichung 165,1

Mittelwertunterschied bei $F_{1;96;0,01} = 3,95$

F Ratio 20,03

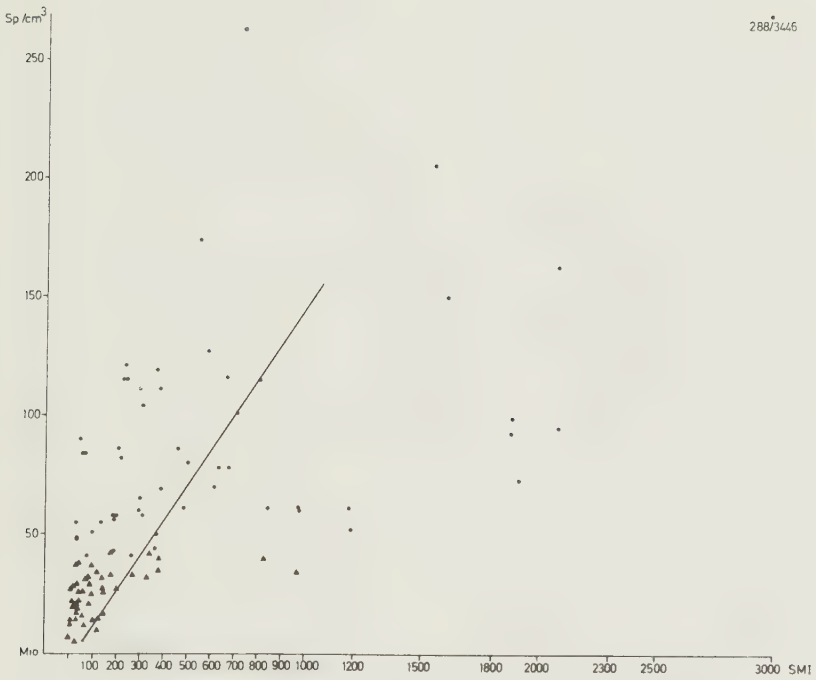


Abb. 17 Beziehung zwischen Zelldichte und SMI
(Steigung der Geraden 1,69, Schnittpunkt 36,87)

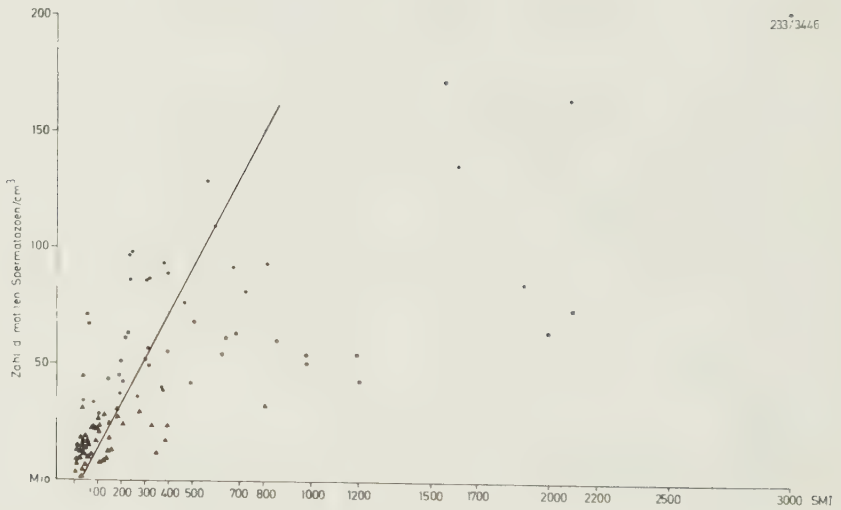


Abb. 18 Beziehung zwischen der Zahl der motilen
Spermatozoen/cm³ und dem SMI
(Steigung der Geraden 2, Schnittpunkt 27,14)

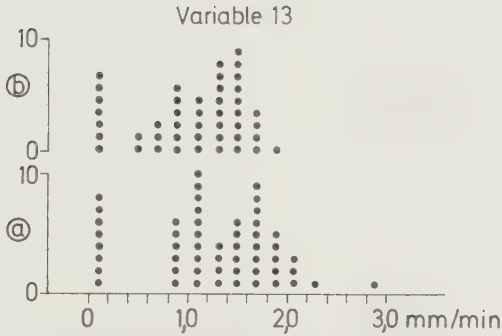


Abb. 19 Kennwerte und Verteilungen der Durchschnittsgeschwindigkeit 1

a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 1,26
Standardabweichung 0,67

b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 1,03
Standardabweichung 0,55

Mittelwertunterschied bei $F_{1;96;0,05} = 3,95$

F Ratio 3,22

(F-Werte aus HOFER u. FRANZEN 1975)

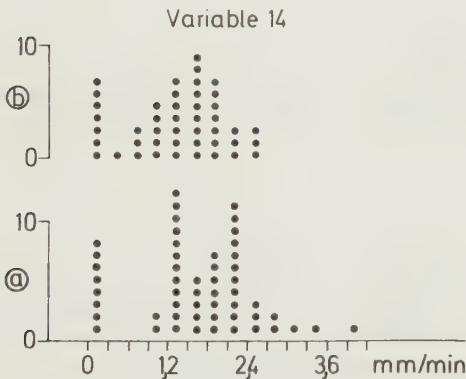


Abb. 20 Kennwerte und Verteilungen der Maximalgeschwindigkeit 1

a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 1,6
Standardabweichung 0,9

b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 1,3
Standardabweichung 0,7

Mittelwertunterschied bei $F_{1;96;0,05} = 3,95$

F Ratio 3,99

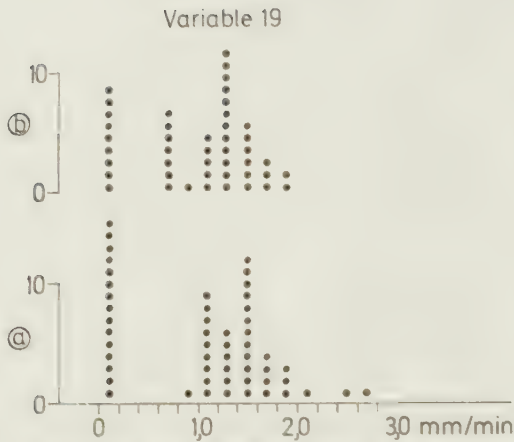


Abb. 21 Kennwerte und Verteilungen der Durchschnittsgeschwindigkeit 2

- a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 1,0
Standardabweichung 0,7
- b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 0,97
Standardabweichung 0,58

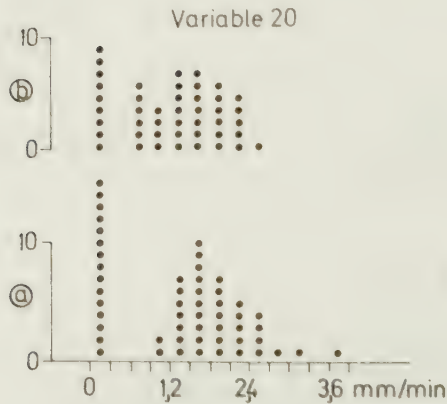


Abb. 22 Kennwerte und Verteilungen der Maximalgeschwindigkeit 2

- a) Normospermien: Anzahl 53, Mittelwert 1,3
Standardabweichung 0,98
- b) Oligospermien: Anzahl 45, Mittelwert 1,17
Standardabweichung 0,76

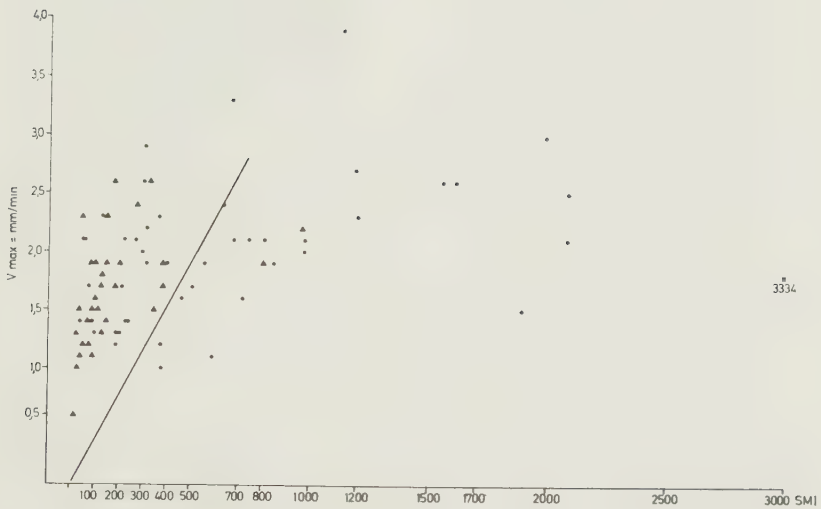


Abb. 23 Beziehung zwischen der Maximalgeschwindigkeit 1
 und dem SMI
(Steigung der Geraden 2,5, Schnittpunkt 1,61)

Korrelationstabellen B n = 28 (SMKG außerhalb von 2 Stunden nach der Spende)

Variable	1 = Arzturteil	3 = Laborwert	13 = Geschwindigkeit V	14 = Geschwindigkeit Vmax	15 = Frequenz Fmin	16 = Frequenz F	17 = Frequenz Fmax	18 = Geschwindigkeit Vmin, 3. Messung	19 = Geschwindigkeit V	20 = Geschwindigkeit Vmax	21 = Frequenz Fmin	22 = Frequenz F	23 = Frequenz Fmax
1 = Spermien/cm ³													
2 = Spermien/cm ³ , eigene Zählung													
3 = Spermien/cm ³ , eigene Zählung													
4 = % bewegliche Spermien													
5 = Alter der Probanden													
6 = Zeitraum zwischen Spende und Registrierung mit dem SMKG													
7 = bewegliche Spermien/cm ³													
8 = SMI 1. Messung 1													
9 = SMI 1. Messung 2													
10 = SMI 2. Messung 1													
11 = SMI 2. Messung 2													
12 = Geschwindigkeit Vmin, 1. Messung													

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
C.00	-0.4392	-0.4506	-0.3600	-0.2074	-0.1430	-0.0895	-0.5327	-0.4509	-0.4240	-0.6164	-0.1598	-0.3378	-0.4472	-0.1097	-0.0095	-0.2184	-0.1165	-0.0830	-0.1300	-0.8263	-0.4182	-0.4273	-0.4273
7.98	0.02	-0.592	-0.6007	-0.4289	-0.2636	-0.1659	-0.5827	-0.5119	-0.4745	-0.7524	-0.2875	-0.4450	-0.6153	-0.2056	-0.3116	-0.4518	-0.0356	-0.3102	-0.3659	-0.4224	-0.6364	-0.4273	-0.4273
17.80	13.14	72.95	-0.0939	-0.1067	-0.4287	-0.7379	-0.5259	-0.5661	-0.4745	-0.6453	-0.0723	-0.3417	-0.4671	-0.5189	-0.4102	-0.5519	-0.13015	-0.3368	-0.1538	-0.7390	-0.1771	-0.4612	-0.4612
26.42	78.36	71.61	1.40	-0.4674	-0.0069	-0.4692	-0.5533	-0.4479	-0.4077	-0.4571	-0.3678	-0.5921	-0.5907	-0.4203	-0.4602	-0.5012	-0.3095	-0.1189	-0.3384	-0.0652	-0.2315	-0.3519	-0.3519
40.83	88.28	74.79	97.23	60.40	-0.1045	-0.0652	-0.2954	-0.3536	-0.2842	-0.2674	-0.4018	-0.5111	-0.5097	-0.4203	-0.4602	-0.5012	-0.3095	-0.1189	-0.3384	-0.0652	-0.2315	-0.3519	-0.3519
54.49	94.79	84.79	97.23	60.40	-0.1045	-0.0652	-0.2954	-0.3536	-0.2842	-0.2674	-0.4018	-0.5111	-0.5097	-0.4203	-0.4602	-0.5012	-0.3095	-0.1189	-0.3384	-0.0652	-0.2315	-0.3519	-0.3519
60.72	13.54	56.88	18.80	54.23	16.95	12.16	5.83	6.62	1.06	-0.9218	-0.1321	-0.5535	-0.6153	-0.8118	-0.2710	-0.3816	-0.5129	-0.4417	-0.5840	-0.3475	-0.2804	-0.1655	-0.0545
C.49	2.31	100.00	74.87	6.21	83.91	0.62	56.25	102.00	62.88	-0.8864	-0.3248	-0.7513	-0.7176	-0.6571	-0.5050	-0.5050	-0.2497	-0.5693	-0.5159	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
2.45	11.07	100.00	67.80	7.44	61.75	4.57	75.57	102.00	98.84	-0.9179	-0.2932	-0.7389	-0.7819	-0.7450	-0.5700	-0.5700	-0.2497	-0.5693	-0.5159	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000
7.56	22.39	100.00	66.43	13.76	43.76	11.97	80.76	102.00	94.63	-0.9179	-0.2932	-0.7389	-0.7819	-0.7450	-0.5700	-0.5700	-0.2497	-0.5693	-0.5159	-0.0000	-0.0000	-0.0000	-0.0000

VIII. Diskussion

Gegenwärtig fehlt noch für die klinische Samenuntersuchung eine objektive Meßmethode zur Motilitätsbestimmung menschlicher Spermatozoen (BARTÁK 1971). Lediglich JANICK u. MAC LEOD (1970) haben eine Überprüfung der von ihnen routinemäßig verwendeten Schätzmethode im Samenlabor mittels eines photographischen Verfahrens vorgenommen, bei der sie zwar eine Korrelation zwischen ihrer Messung und Schätzung nachweisen konnten, jedoch folgende Einschränkung machen mußten: "It is doubtful, too, that the objective method used by us is adaptable to routine observations of sperm motility in a fertile practice". Umso bedauerlicher ist es, daß keinerlei Untersuchungen vorliegen, bei denen parallel zur Samenuntersuchung objektive Methoden eingesetzt wurden. Alle bisher verwandten photographischen Methoden sind bei Zelldichten oberhalb 30 Mill. nicht mehr anzuwenden. Ansonsten müssen die Samenproben verdünnt werden. Dieses Vorgehen bleibt jedoch im Hinblick auf Einflüsse durch das Verdünnungsmedium fragwürdig.

Photoelektrische, elektronische und Lasertechniken arbeiten mit der kollektiven Auswertung der eingestrahlten Energie durch die sich bewegende Samenzelle. Der apparative Aufwand ist zwar wesentlich größer als bei den photographischen Techniken, jedoch sind die ausschließlich numerischen Daten sofort verfügbar. Die Mikrokinematographie scheidet wegen der mühseligen Bild für Bildanalyse und dem enormen Zeitbedarf für die Routineuntersuchung aus.

Dagegen liefert die von uns benutzte Spermiomikrokymographie (SMKG) ein funktionell-morphologisches Registrat, das sowohl quantitative als auch qualitative Aussagen ermöglicht. Die Registrierung ist schnell und mit geringem Aufwand durchführbar. Durch die Verwendung standardisierter Untersuchungsbedingungen wie Filmtransportgeschwindigkeit, Abbildungsmaßstab, Spaltblendenlänge sowie Kammertiefe liefert die Methode reproduzierbare Ergebnisse, was durch die Parallel- und

Wiederholungsreliabilität des Spermiomotilitätsindex (SMI) belegt wird. Die Samenprobe muß für die kymographische Untersuchung auch bei großer Zelldichte und Beweglichkeit nicht verdünnt werden, worin ein besonderer Vorteil zu sehen ist. Unbewegliche, geformte Bestandteile des Ejakulates finden sich als Belichtungsstreifen in unterschiedlicher Breite auf dem Registrat wieder. Propulsive Spermatozoen, welche den Spalt rechtwinklig kreuzen, liefern gut auswertbare Funktionsfiguren im SMKG, die deutlich in die dickere Kopfzone und den dünneren Abschnitt des Mittelstücks aufgeteilt sind. Der Schwanz der Samenzelle wird in der Regel nicht dargestellt. Die Ausschläge des Kopfes und des Mittelstückes können leicht vermessen und die Amplituden und Frequenzen angegeben werden. Änderungen des Anstichwinkels, vor allem wenn dieser unter 10° liegt, erschweren die Deutung der einzelnen Bewegungsfiguren. Der Übergang zu den Spaltläuferfiguren ist fließend.

Aus der Komposition aller kymographischen Figuren sich bewegender Samenzellen mit unterschiedlicher Bewegungsform und -vielfalt sowie ihrer statistischen Verteilung in der Probe entsteht ein globales Funktionsbild, das für jedes Ejakulat einen individuellen Eindruck von der Bewegungsdynamik des Kollektivs motiler Spermatozoen vermittelt und "Bewegungssumme" genannt wird. Das quantitative Ergebnis bildet der SMI.

Eine qualitative Beurteilungsmöglichkeit ergibt sich durch die Frequenz- und Geschwindigkeitserfassung einer bestimmten Zahl von Spermatozoen (RIKMENSPOEL 1962). Letztere haben wir bei 87 Proben gemessen. Unter der Geschwindigkeit der einzelnen Samenzelle versteht man grundsätzlich die geradlinige, propulsive Bewegung, die als Weg/Zeit-Beziehung ausgedrückt wird. Wir bevorzugen die Angabe in mm/Min., da beide Größen gut verständliche Maßeinheiten darstellen.

Bereits VAN LEEUWENHOEK (1678) vermutete, daß die Spermien sich mit 4 oder 5 Zoll in 30 Min. vorwärtsbewegen. Alte Geschwindigkeitsbestimmungen an menschlichen Spermatozoen von HENLE (1841) LOTT (1872) konnten in neuerer Zeit von CASARES und BOTELLA (1953), HARVEY (1959), HYNIE (1962), SILLO-SEIDL (1963), BARTÁK (1971/73) mit semiquantitativen Methoden u. von JANICK und MAC LEOD (1970), VAN DULJN (1971), JECHT-RUSSO (1973) und DUBOIS et al. (1975) mit objektiven Meßmethoden bestätigt werden.

Die objektive Messung der Spermatozoengeschwindigkeit im Samenlabor stößt ebenfalls auf erhebliche Schwierigkeiten (BARTÁK 1971). Hier sind auch im SMKG Einschränkungen zu machen. Die Ausmessung ausreichender Spaltläuferfiguren im SMKG ist leider nicht immer möglich und konnte von uns nicht an allen Registraten vorgenommen werden. Man muß hierbei auf die Geschwindigkeitsmessung unter Zuhilfenahme des Verzerrungsfaktors zurückkommen (CASTENHOLZ 1975), bei dem sich aber eine Fehlermöglichkeit durch die unterschiedliche Länge des Spermakopfes (3-5 μ m) ergibt (SCHIRREN 1972, VAN DULJN et al. 1972).

Zwar befinden sich unsere Geschwindigkeitsergebnisse innerhalb der Angaben der vorgenannten Autoren, jedoch konnten wir insgesamt eine um 0,8 mm/Min. geringere Durchschnittsgeschwindigkeit als DUBOIS et al. (1975) ermitteln. Die von JOËL (1953) für die klinische Samenuntersuchung eingeführten Begriffe der Hyper-, Normo- und Hypokinese zur Beweglichkeitsbeurteilung der Gesamtheit der Samenzellen sollten u. E. durch objektive Geschwindigkeitsmessungen an einer größeren Zahl von Spermatozoen besser untermauert werden. Die Mikrokymographie könnte hier in besonderer Weise das Spermiogramm um ein weiteres Beurteilungskriterium ergänzen.

Der von uns bestimmte Spermiomotilitätsindex (SMI) stützt zwar die Motilitätsbeurteilung des andrologischen Labors mit Korrelationen von $r > 0,7$ bei $p < 0,01$, jedoch ergeben sich in einzelnen Fällen stärkere Diskrepanzen zwischen der objektiven Messung und der vorliegenden klinischen Diagnose (Abb. 18). Geht man davon aus, daß unterhalb eines SMI-Wertes von 450 nur Samenproben mit geringer Zelldichte zu finden sind, die als "pathologisch" beurteilt wurden, so zeigt das Diagramm (Abb. 18) auch Normospermien, die eine Zelldichte von über 30 Mill. aufweisen, aber einen SMI unter 450 besitzen. Somit würde der mit Hilfe der Spermiomikrokymographie ermittelte SMI die Beurteilungsschärfe der andrologischen Diagnose beträchtlich steigern.

Da klare Kriterien für eine fertile Samenzelle noch nicht vorliegen (ELIASSON 1970), muß man davon ausgehen, daß zur Erarbeitung von Daten für die in dieser Beziehung besonders wichtige Bewegungsanalyse menschlicher Spermatozoen auf objektive Methoden künftig nicht verzichtet werden kann. Hier bietet das Verfahren der Mikrokymographie, wie diese Analyse zeigt, neue Möglichkeiten der Andrologie ohne größeren zeitlichen und apparativen Aufwand leicht eruierbare Daten über die Spermatozoenmotilität innerhalb eines Ejakulates zur Verfügung zu stellen.

Aufgrund der hier vorgelegten Ergebnisse muß man mit VAN DUJN (1971) zu dem Schluß kommen "that visual motility estimations should be totally abandoned and replaced by objective measuring methods".

IX. Zusammenfassung

An Samenproben von 98 Männern im Alter von 18 bis 60 Jahren wurden mit der Spermiomikrokymographie bewegungsanalytische Untersuchungen durchgeführt. Es handelte sich dabei um Sperma unterschiedlicher Qualität. Die Untersuchung der andrologischen Abteilung ergab 53 mal normales Sperma und 45 mal pathologisch veränderten Samen. Die Analyse der Bewegung einzelner Samenzellen wird anhand der Bewegungsfiguren des Spermiomikrokymogramms (SMKG) aufgezeigt. Ebenso kann die Summe aller aufzeichneten Bewegungen qualitativ beurteilt und quantitativ durch den Spermiomotilitätsindex (SMI) erfaßt werden. Der SMI ist von der Zahl und der Bewegungsdynamik der motilen Spermien in der Samenprobe abhängig und ergibt reproduzierbare Ergebnisse. Die statistische Auswertung der Daten der objektiven Motilitätsbestimmung und der Schätzung durch das andrologische Labor wies zwar Beziehungen auf, jedoch liefert das SMKG genauere und weiter aufgefächerte Ergebnisse, die eine Diagnosestellung präzisieren helfen. Daher sollte in Zukunft auf den Einsatz objektiver Registriermethoden wie die Spermiomikrokymographie nicht mehr verzichtet werden.

X. Literaturverzeichnis

- Adolphi, H.: Die Spermatozoen der Säugetiere schwimmen gegen den Strom. Anat. Anz. 26, 549-559 (1905)
- Afzelius, B.A.: Thoughts on comparative Spermatology. In: Comparative Spermatology, Hrsg. B. Baccetti. Academic Press, New York - London 1970.
- Atherton, R.W.: An objective method for evaluating Angus and Hereford sperm motility. Int. J. Fertil. 20, 109-112 (1975)
- Bargmann, W.: Histologie und Mikroskopische Anatomie des Menschen. 6. Aufl., Georg Thieme, Stuttgart 1967.
- Barták, V.: Zur Problematik der objektiven Bestimmung der Spermatozoen-Motilität. Andrologie 3(3), 99-107 (1971)
- Bishop, D.W.: Sperm motility. Physiol. Rev. 42, 1-59 (1962)
- Bosselaar, C.A. und N. Spronk: A physical method for determination of the motility and concentration of spermatozoa. Nature, London 169, 18-19 (1952)
- Brokaw, C.J.: Movement and nucleoside polyphosphatase activity of isolated flagella from *Polytoma uvella*. Exp. Cell Res. 22, 151-162 (1961)
- Brokaw, C.J.: Bending waves of the posterior flagellum of *Ceratium*. Science 142, 1169-1170 (1963)

- Brokaw, C.J.: Non-sinusoidal bending waves of sperm flagella.
J. Exp. Biol. 43, 155-169 (1965)
- Brown, R.H. und J.A. Popple: Multiple flash photography.
Med. Biol. Ill. 5, 23-28 (1955)
- Burgos, M.H. und E.S. Tovar: Sperm motility in the rat epididymis.
Fertil. Steril. 25, 985-991 (1974)
- Casares-Ponce, H.Y. und J. Botella-Llusiá: Medida de la velocidad
de progresión des espermio humano.
Arch. med. Exp. 16, 469 (1953)
- Castenholz, A.: Mikrokymographie - ein Verfahren zur Registrierung
von Bewegungsvorgängen im mikroskopischen Bereich.
Z. wiss. Mikr. 68, 193-207 (1967)
- Castenholz, A.: Kymographie mit dem Vitalmikroskop (Mikrokymographie).
Microscopica Acta 74, 89-109 (1973)
- Castenholz, A.: Photokymographische Registriermethode zur Dar-
stellung und Analyse der Spermatozoenbewegungen.
Andrologia 6 (2), 155-168 (1974a)
- Castenholz, A.: Über eine Aufnahmetechnik - Streifen-Mikrophotographie -
für fortlaufende Registrierungen an fixierten und bewegten
Objekten der Mikroskopie.
Microscopica Acta 75, 309-320 (1974b)
- Castenholz, A.: Mikrokymography and related techniques. In: Advances
in optical and electron microscopy. Hrsg. R. Barer 1977, im Druck

- Demark van, N.L., G.W. Salisbury, A.N. Moeller und C. Berkley:
Exploration of electronic methods for evaluating sperm motility.
Science 127, 286-287 (1958)
- Denehy, A.M.: The propulsion of nonrotating ram and oyster spermatozoa.
Biol. Reprod. 13, 17-29 (1975)
- Dixon, W.I. : Biomedical computer programs. University of California
Press, Berkeley -London 1971.
- Doepfmer, R. und E. Heinke: Fertilitätsstörungen beim Manne. In:
Jadassohn Handbuch der Haut- und Geschlechtskrankheiten,
Ergänzungswerk 6. Bd., III. Teil, Springer Berlin 1960.
- Dubois, M., P. Jouannet, P. Berge, B. Volochine, C. Serres und
G. David: Méthode et appareillage de mesure objective de
la mobilité des spermatozoides humains.
Am phys. biol. et med. 9, 19-41 (1975)
- Duijn van, Jr., C., C. van Voorst und M. Freund: Movement character-
istics of human spermatozoa analysed from kinemicrographs.
Europ. J. Obstet. Gynec. 4, 121-135 (1971)
- Duijn van, Jr., C.: Precision measurements of dimensions, shape and
mass density of spermatozoan heads in normal and subfertile
human males. Europ. J. Obstet. Gynec. 2, 37-54 (1972)
- Eliasson, R.: Standards for investigation of human semen.
Andrologie 3 (2), 49-64 (1971a)
- Eliasson, R.: Interlaboratory coordination and control in andrology.
Andrologie 3 (3), 113-115 (1971b)

- Elliot, F.I., J.K. Sherman, E.J. Elliot und J.J. Sullivan: A photographic method of measuring percentage of progressively motile sperm cells using dark-field microscopy. In: Atti dell VIII. Simposio International di Zootechnica Milano 1973, in: It. Societa per il progresso della Zootechnica.
- Farris, E.J.: Zitiert nach Silló-Seidl. Anat. Rec. 101, 700 (1948)
- Farris, E.J.: The number of motile spermatozoa as an index of fertility in man. A study of 406 semen specimens.
J. Urology 61, 1099-1104 (1949)
- Farris, E.J.: Motile spermatozoa as an index of fertility in man.
Fert. Steril. 1, 239-244 (1950)
- Fawcett, D.W.: The structure of the mammalian spermatozoon.
Int. Rev. Cytol. 7, 195-234 (1958)
- Fawcett, D.W.: Male reproductive system. In: A textbook of Histology, 10th Edition, Hrsg. W. Bloom und D.W. Fawcett. W.B. Saunders Company, Philadelphia 1975.
- Fray, C.S., A.P. Hoffer und D.W. Fawcett: A reexamination of motility patterns of rat epididymal spermatozoa.
Anat. Rec. 173, 301-308 (1972)
- Freund, M.: Semen analysis. In: Progress in Infertility, Hrsg. S.J. Behrmann und R.W. Kistner, Little, Brown and Company, Boston 1968.
- Gaddum, P.: Sperm maturation in the male reproductive tract: Development of motility. Anat. Rec. 161, 471-482 (1968)

Gibbons, I.R.: Mechanisms of flagellar motility. In: The Functional Anatomy of the Spermatozoon, Hrs. B.A. Afzelius, Pergamon Press, Oxford 1975.

Gibbons, B.H. und I.R. Gibbons: Flagellar movement and adenosine triphosphatase activity in sea urchin sperm extracted with Triton X-100. J. Cell Biol. 54, 75-97 (1972)

Gray, J.: The movement of the sea urchin spermatozoa.
J. Exp. Biol. 32, 775-801 (1955)

Gray, J.: The movement of the spermatozoa of the bull.
J. Exp. Biol. 35, 96-108 (1958)

Hartmann, C.G.: Individualism in the semen picture of infertile men.
Fert. Steril. 15, 231-253 (1964)

Harvey, C.: A method for estimating the activity of spermatozoa.
Nature (London) 155, 368 (1945)

Harvey, C.: A fertility index derived from semen analysis.
J. Clin. Path. 6, 232 (1953)

Harvey, C.: The speed of human spermatozoa and the effect on it of various diluents, with some preliminary observations on clinical material. J. Reprod. Fertil. 1, 84-95 (1960)

Heinke, E. und E. Schuchardt: Ejakulat und Störungen der Fertilität.
In: Die männliche Keimdrüse, Hrsg. E. Tonutti, O. Weller,
E. Schuchardt und E. Heinke. Georg Thieme, Stuttgart 1960.

Henle, J. : Allgemeine Anatomie. In: Vom Bau des menschlichen Körpers, Bd.6, Hrsg. S.Th.Sömmerring, 1841

Hofer, M. und U. Franzen : Theorie der angewandten Statistik.
Beltz, Weinheim 1975.

Hotchkiss, R.S.: Methods in sperm analysis and evaluation of
therapeutic procedures.
J. amer. med. Ass. 107, 1849-1851 (1936)

Hynie, J.: Quick calculation of the velocity of the spermatozoa.
Int. J. Fert. 7, 345 (1962)

Janick, J. und J. MacLeod: The measurement of human spermatozoan
motility. Fert. Steril. 21, 140-146 (1970)

Jecht, E. W. und J. J. Russo: A system for the quantitative analysis
of human sperm motility. Andrologie 5 (3), 215-221 (1973)

Joel, C.A.: Studien an menschlichem Sperma.
B. Schwabe, Basel 1953.

Joel, C.A. und J. Botella-Llusiá: Principles of modern semen examination
and Botella-Casares test. In: Fertility Disturbances in Men and
Women, Karger, Basel 1971.

Koelliker, A.: Handbuch der Gewebelehre des Menschen, III Bd., 3,
Wilhelm Engelmann, Leipzig 1902.

Leeuwenhoek van, A.: Zitiert nach Sillo-Seidl.

Lindemann, Ch.B. und I.R. Gibbons: Adenosin triphosphate-induced
motility and sliding of filaments in mammalian sperm extracted
with Triton X-100. J. Cell Biol. 65, 147-162 (1975)

Lott, G.: Zur Anatomie und Physiologie des Cervix uteri.
Erlangen 1872.

MacLeod, J. und R.Z. Gold: The male factor in fertility and infertility.

III. An analysis of motile activity in the spermatozoa of 1000
fertile men and 100 men in infertile marriage.

Fertil. Steril. 2, 187-204 (1951)

MacLeod, J. und R.Z. Gold: The male factor in fertility and infertility.

IV. Sperm morphology in fertile and infertile marriage.

Fertil. Steril. 2, 394-414 (1951)

McGrady, A.V., L. Nelson und M. Ireland: Ionic effects on the motility
of bull and chimpanzee spermatozoa.

J. Reprod. Fertil. 40, 71-76 (1974)

Mohri, H. und K. Ogawa: Tubulin and dynein in spermatozoan motility.

In: The functional anatomy of the spermatozoon, Hrsg. B.A.

Afzelius, Pergamon Press, Oxford 1975.

Munktel, G. und T. Fjällbrant: Electronic equipment for measuring the
mobility of spermatozoa. 3rd Int. Conf. Med. Phys., Gothenburg
1972.

Naghma-E-Relian, A.J. Sobrero und J.W. Fertig: The semen of fertile
men: Statistical analysis of 1300 men.

Fert. Steril. 26, 492-502 (1975)

Nelson, L.: Enzyme distribution in "naturally-decapitated" bull sperma-
tozoa: Acetylcholinesterase, adenylypyrophosphatase, and
adenosin triphosphatase. J. Cell Physiol. 63, 113-116 (1966)

Nelson, L., A.V. McGrady und M.E. Fangboner: Control of flagellar
movement. In: Comparative Spermatology, Hrsg. B. Baccetti,
Academic Press, New York 1970.

Pedersen, H.: Ultrastructure of the ejaculated human sperm.

Z. Zellforsch. 94, 542-554 (1969)

Phillips, D.M.: Cinematographic analysis of mammalian spermatozoa.

J. Cell Biol. 47 (2, Pr.2), 238a (1970)

Phillips, D.M.: Comparative analysis of mammalian sperm motility.

J. Cell Biol. 53, 561-573 (1972)

Phillips, D.M. und G. Olson: Mammalian sperm motility - Structure in relation to function. In: The Functional Anatomy of the Spermatozoon, Hrsg. B.A. Afzelius, Pergamon Press, Oxford 1975.

Rebbe, H.: Eine Methode zur Bestimmung der Beweglichkeit der menschlichen Samenzellen. Leitz Mitt. Wiss. u. Techn., Bd. VI, Nr.1, S.18-20, Wetzlar 1973.

Retzius, G.: Zur Kenntnis der Spermatozoen. Biologische Unters., S. 77, 1881.

Rikmenspoel, R.: Photoelectric and cinematographic measurements of the motility of bull sperm cells. Thesis, W.J. Smit Co, Utrecht 1957.

Rikmenspoel, R.: Biophysical approaches to the measurement of sperm motility. In: Spermatozoon Motility, Hrsg. D.W. Bishop, American Association for the Advancement of Science, Publ.No.72, Washington D.C. 1962.

Rikmenspoel, R.: Electronic analyser for measuring velocities and the concentration of spermatozoa.

Rev. Sci. Instrum. 35, 52 (1964)

- Rikmenspoel, R.: Physical principles of flagellar motion. In: Dynamics of Fluids and Plasmas, Academic Press Inc., New York 1966.
- Ritchie, D.: The frequency of beat of sperm tails.
Science 111, 172-173 (1950)
- Rothschild, L. und M.M.Swann: The fertilisation reaction in the sea urchin egg. J. Exp. Biol. 26, 164-176 (1949)
- Rothschild, L.: A new method of measuring sperm speeds.
Nature (London) 171, 512 (1953)
- Rothschild, L.: Measurement of sperm activity before artificial insemination. Nature (London) 163, 358 (1949)
- Ruthmann, A.: Methoden der Zellforschung. Kosmos, Ges. d. Naturfreunde, Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1966.
- Sachs, L.: Statistische Auswertungsmethoden.
Springer, Heidelberg 1969.
- Schenk, R. und G. Kistler: Mikrophotographie.
S. Karger, Basel 1960.
- Schirren, C.: Praktische Andrologie.
Brüder Hartmann, Berlin 1971.
- Schirren, C.: Normwerte und Nomenklaturfragen in der Andrologie.
Andrologie 4 (2), 153-155 (1972)
- Schlenk, W. und H. Kahmann: Ein Verfahren zur Messung der Spermatozoenbewegung.
Pflüger's Arch. d. ges. Physiol. 236, 398-404 (1935)

- Sillo-Seidl, G.: Die Bewegungslehre der menschlichen Samenfäden.
Fortschr.d.Geburtsh.u.Gynäk. Vol.15, Karger, Basel 1963 .
- Sobrero, A.J.: Sperm migration in the human female. In: Human
Reproduction, Hrsg. Campos da Paz, Igaku Shoin, Tokyo 1974.
- Sobrero, A.J. und Nagma-E-Relian : The semen of fertile men.
II. Semen characteristics of 100 fertile men.
Fert.Steril. 26, 1048-1056 (1975)
- Tchacarof, E. und Ch. Nachev : Spermatokinesigraphic features of
the vibrating spermatozoa of human semen. In: Fertility
and Sterility, Hrsg. B. Westin und N. Wiqvist, Exerpta
Medica Foundation, Amsterdam 1967.
- Timourian, H. und G. Watchmaker: Determination of spermatozoan
motility. Develop.Biol. 21, 62-72 (1970)
- Waldeyer, W. : Die Geschlechtszellen. In: Handb.d.vergl.u.exp.
Entwicklungslehre der Wirbelthiere, Hrsg. O. Hertwig,
1. Lief., Gustav Fischer, Jena 1901
- Wall, K.A. und M.A. Boone : Objective measurement of sperm
motility. Poultry Science, Vol. L II, No. 2, 657-660
- Zamboni, L., R. Zemjanis und M. Stefanini : The fine structure
of monkey and human spermatozoa.
Anat. Rec. 169, 129-154 (1971)
- Zorgniotti, A.W., R.S. Hotchkiss und L.C. Wall : High speed
cinemicrophotography of human spermatozoa.
Med. Radiogr. Photogr. 34, 44 (1958)

Quellenverzeichnis

Bibliothek des Anatomischen Institutes der Universität Marburg

Bibliothek der Dermatologischen Universitätsklinik Marburg

Bibliothek der Dermatologischen Universitätsklinik Hamburg-Eppendorf

Universitätsbibliothek Marburg

Herrn Prof. Dr. A. Castenholz möchte ich für die Anregung zu dieser Dissertation, für die Überlassung der mikrokymographischen Apparatur sowie für seine Diskussionsbereitschaft besonders danken.

Ebenfalls möchte ich Herrn Dr. Schulze sowie Herrn Preis von der andrologischen Abteilung der Dermatologischen Klinik Marburg für die gute Kooperation bei der Bereitstellung des Untersuchungsmaterials danken.

Mein Dank gilt auch Frau Plog und Frau Schneider für die gewissenhafte Ausführung der photographischen Arbeiten, Herrn Fiebiger für die Anfertigung der Skizzen sowie Frau Wienen für die Ausführung der Schreib- und Korrekturarbeiten.

Für wertvolle Hinweise zur Morphologie der Samenzelle möchte ich Herrn Prof. Dr. G. Aumüller Dank sagen.

Für den hilfreichen Rat bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse danke ich besonders Frau Dipl.-Psych. I. Höfer sowie Herrn Dipl.-Psych. U. Franzen.

Lebenslauf

Am 8. November 1946 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Erich Hermanns und dessen Ehefrau Hermine, geb. Ehmann in Ochsenbach/Krs. Vaihingen/Enz geboren.

Seit 1950 wohnte ich mit meinen Eltern in Mannheim und besuchte dort von Frühjahr 1952 bis 1957 die Volksschule und wurde nach bestandener Aufnahmeprüfung in das private Johann-Sebastian-Bach Gymnasium in Mannheim-Neckarau aufgenommen. Dort legte ich am 14. Oktober 1966 die Reifeprüfung ab.

Im Oktober 1966 immatrikulierte ich mich an der Philipps-Universität Marburg für das Fach Zahnheilkunde. Nach bestandener zahnärztlicher Vorprüfung im März 1969 beendete ich mein klinisches Studium am 19. November 1971 mit der zahnärztlichen Prüfung.

Am 1. Dezember 1971 erhielt ich an der Prothetischen Abteilung der Marburger Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten eine wissenschaftliche Assistentenstelle. 1972 ging ich in die Vorklinische Abteilung dieser Klinik. Zum 2. Mai 1973 wurde ich zum 15monatigen Wehrdienst an der Zahnstation der Panzertruppende in Munster einberufen.

Seit 15.10.1974 bin ich an der Abt. für Experimentelle Morphologie des Anatomischen Institutes als wissenschaftlicher Angestellter tätig.

Auf Antrag des Fachbereichs Humanmedizin erhielt ich in den Jahren 1972/73 Lehraufträge für vorklinische Zahnheilkunde und von 1974 bis 1976 Lehraufträge für den mikroskopisch-anatomischen Kurs sowie den Präparierkurs für Zahnmediziner.

Meine akademischen Lehrer waren die Professoren und Dozenten:

Amon, Castenholz, Dimroth, Haan, Hennis, Hering, Heuser, Hort, Hupe, Janke, Karlson, Korb, Kühnel, Mahr, Mann, Meyer-Bertenrath, Niemeyer, Nöth, Pantke, Petry, Pfütz, Riecken, Rohen, Rosemann, Salfeld, Schiff, Schmid, Schmidt, Schnell, Seidel, Siegert, Vogt, Walcher, Wendt.

